



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

ANÁLISIS DE ACCIDENTES VIALES APLICANDO LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO

JERIE WESLEY LEIVA ALVA
ASESORADO POR ING. AUGUSTO RENÉ PÉREZ MÉNDEZ

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE ACCIDENTES VIALES APLICANDO
LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JERIE WESLEY LEIVA ALVA

ASESORADO POR
ING. AUGUSTO RENÉ PÉREZ MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

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



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Augusto René Pérez Méndez
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HUNORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE ACCIDENTES VIALES APLICANDO LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de mayo de 2003.

Br. Jerie Wesley Leiva Alva

DEDICATORIA

A:

Dios

Sobre todas las cosas

Mis Padres

Licda. Floridalma Alva Meza

Lic. Edgar Mauricio García

Mis Hermanos

Luis Felipe

Edgar Mauricio

Mis Abuelos

Maria Otilia Meza de Alva

Julio René Alva

AGRADECIMIENTOS

Ing. Augusto René Pérez Méndez Por su valiosa ayuda, si la cual no hubiese si posible la elaboración del presente trabajo de graduación.

Lic. Miriam Dolores Ovalle de Moroy Por su apoyo y confianza.

A Marco Antonio Reyna Cruz
Lovsang Eduardo Barquees Arriaza
Juan José Tohom
Claudia Rivas
Walter Aparicio Ávila

Mis Compañeros de Trabajo

**La Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería**

Guatemala, 18 de julio de 2003.

Ingeniero

Carlos Salvador Gordillo García

DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Facultad de Ingeniería

Universidad San Carlos de Guatemala

Guatemala

Estimado Ingeniero:

Atentamente me permito presentar a usted el Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS DE ACCIDENTES VIALES APLICANDO LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO**, desarrollado por el estudiante universitario Jerie Wesley Leiva Alva, cané, 9615595, manifiesto que, habiendo hallado que el mismo cumple satisfactoriamente con las características de un trabajo formal de investigación, recomiendo que apruebe para su defensa en examen publico.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.

Asesor
Augusto René Pérez Méndez
Ingeniero Civil

Guatemala, 18 de julio de 2003.

Ingeniero
Celvin Enrique Estrada Barrera
JEFE DEPARTAMENTO DE TRASPORTES
Facultad de Ingeniería
Universidad San Carlos de Guatemala
Guatemala

Estimado Ingeniero:

Atentamente me permito presentar a usted el Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS DE ACCIDENTES VIALES APLICANDO LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO**, desarrollado por el estudiante universitario Jerie Wesley Leiva Alva, cané, 9615595, manifiesto que, habiendo hallado que el mismo cumple satisfactoriamente con las características de un trabajo formal de investigación, recomiendo que apruebe para su defensa en examen publico.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.

Asesor
Augusto René Pérez Méndez
Ingeniero Civil

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX

1. ASPECTOS GENERALES DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

1.1 ¿Qué es la ingeniería de tránsito?.....	1
1.2 El peatón	2
1.3 El conductor.....	2
1.4 El vehículo.....	2
1.5 La vía.....	3
1.6 Accidentes de tránsito.....	4
1.7 Sistema vial.....	5
1.8 Datos estadísticos de accidentes de tránsito en Guatemala.....	6
1.8.1 Causa de accidentes en áreas urbanas	11
1.8.2 Causa de accidentes en áreas rurales.....	16
1.8.3 Razones aparentes más frecuentes de los accidentes de tránsito en Guatemala.....	17

2. PERITAJE ACCIDENTOLÓGICO VIAL..... 21 |

2.1 Accidentología vial.....	21
------------------------------	----

2.2	Tipos de colisiones.....	22
2.3	Puntos de referencia.....	26
2.4	Marcas de frenadas.....	29
2.5	Sistemas de frenos.....	33
2.5.1	La energía frenante.....	36
2.5.2	Relación entre la fuerza viva y la energía frenante.....	37
2.6	Topografía del terreno.....	38
2.7	Factores climáticos.....	40
2.8	Los neumáticos y el pavimento.....	42
2.9	Tiempo de reacción del conductor.....	48
2.10	Determinación de la velocidad.....	51

3. CONDICIONES GEOMÉTRICAS DE UNA VÍA

3.1	Factores que condicionan el diseño geométrico de una vía.....	57
3.2	Velocidad de proyecto.....	58
3.2.1	Velocidad de operación.....	59
3.2.2	Velocidad de diseño.....	59
3.2.3	Velocidad de ruedo.....	62
3.3	Volumen de tránsito.....	63
3.3.1	Transito promedio diario anual.....	64
3.3.2	Transito de hora pico ó de punta.....	65
3.3.3	Factor de hora pico.....	66
3.4	Tipos de vehículo que transitan por la vía	
3.4.1	La composición del tránsito.....	67
3.4.2	Los vehículos de diseño.....	67
3.5	Control de accesos	

3.5.1	Criterios de selección y diseño.....	71
3.6	Intensidad de tránsito.....	72
3.7	Distancia de visibilidad de parada.....	74
3.8	Distancia de visibilidad de paso ó de adelantamiento.....	81
3.8.1	Distancia mínima de adelantamiento.....	85

4. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS HORIZONTALES DE UNA VIA

4.1	Radio y peralte de las curvas circulares.....	87
4.1.1	Curvatura horizontal y sobre elevaciones.....	87
4.1.2	Sobre anchos en curvas.....	94
4.1.3	Longitud mínima de curvas horizontales.....	97
4.1.4	Curvas horizontales de transición.....	99
4.2	Número de carriles de circulación.....	101
4.3	Ancho de calles y carreteras.....	104
4.3.3	Arriate central.....	108
4.4	Hombros o espaldones.....	110
4.5	Calles de servicio ó marginales.....	112
4.6	Intersecciones a nivel de las carreteras.....	116
4.6.1	Conceptos generales de una intersección.....	116
4.6.2	Clasificación general.....	118
4.6.3	Diseño de las intersecciones.....	119

5. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS VERTICALES DE UNA VÍA

5.1 Pendientes de calles y carreteras.....	127
5.2 Curvas verticales.....	130
5.3 Pendiente transversal.....	130
6. SEÑALIZACIÓN DE CALLES Y CARRETERAS.....	133
Función de las señales de tránsito.....	134
Criterios de instalación.....	135
Su visibilidad.....	137
Localización de las señales.....	140
Marcas viales en el pavimento.....	140
Definición.....	140
Funciones.....	141
Limitaciones.....	141
Uniformidad.....	142
Clasificación.....	142
Materiales.....	143
7. EDUCACIÓN VIAL.....	145
7.1 Metas de la educación vial.....	145
7.2 Importancia de la educación vial.....	146
7.3 Educación vial como parte del programa de escolar.....	146
7.4 Implementación política.....	147
7.5 Puntos Importantes en la educación vial.....	147
7.6 Objetivos del aprendizaje.....	148
7.7 Educación vial empleando los medios de comunicación.....	148
8. PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO	

8.1	Inspección vehicular en forma periódica y regular.....	151
8.2	Educación del conductor y el peatón.....	152
8.3	Limpieza y control de residuos de accidentes.....	152
8.4	Vigilancia de los sitios detectados como peligrosos para el tránsito.....	153
8.5	Registro de datos e identificación de los sitios de mayor frecuencia de accidentes y sus característica relevantes.....	154
8.6	Evaluación del alcohol sobre la seguridad de las calles y carreteras.....	155
8.7	Reglamento de tránsito y su aplicación legal.....	155
8.8	Servicios policíacos en relación con la operación del tránsito.....	156
8.9	Diseño, construcción, y mantenimiento de calles, avenidas y carreteras.....	157
8.10	Dispositivos para el control del tráfico y protección del peatón.....	157
8.11	Enseñanza de la ingeniería de tránsito.....	158
8.12	Creación de Oficinas de Atención ó Departamentos de Ingeniería de Tránsito.....	159
	CONCLUSIONES.....	161
	RECOMENDACIONES.....	165
	BIBLIOGRAFÍA.....	167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Accidentes de Tránsito, 1989-1998	10
2	Lesionados en Accidentes de Tránsito, 1998	14
3	Lesionados en Estado de Ebriedad, 1998	15
4	Lesionados no Ebrios, Año 1998	15
5	Tipos de Colisiones Entre Vehículos	25
6	Frenadas de Vehículo	32
7	Características de los Vehículos de Diseño	70
8	Distancia de Visibilidad de Parada	78
9	Etapas para la Maniobra de Adelantamiento en Carreteras de Dos Carriles	84
10	Componentes de la Curva Circular y Espira	92
11	Diagrama de Transición Espiral de Peralte	93
12	Transición Simple de Peralte y Sobre Ancho (A)	95
13	Transición Simple de Peralte y Sobre Ancho (B)	96
14	Derecho de Vía y Sección Trasversal Típica de una Carretera Colectora	106
15	Derechos de Vía y Sección Trasversal Típica de una Carretera Troncal	107
16	Sección Tipo en Recta de Arterias Principales con Mediana	105
17	Intersecciones de Tres o Cuatro Accesos con Posible Número de Conflicto	123

18	Intersecciones de tres accesos ó en “T”	124
19	Tipos de Intersecciones de Cuatro Accesos	125
20	Tipos de Pendientes de la Sección Trasversal en Tangente	132
21	Distancia de Visibilidad de una Señal	138

TABLAS

I	Causa de accidentes en áreas urbanas (1998)	11
II	Lesionados en accidentes de tránsito (1998)	13
III	Muertos en accidentes de tránsito (1998)	13
IV	Causa de accidentes en áreas rurales (1998)	16
V	Causa de accidentes en Guatemala (1994-1998)	17
VI	Muertos y lesionados por falta de mantenimiento de carreteras	19
VII	Accidentes por tipo de vehículo	20
VIII	Accidentes de tránsito debido a las condiciones de humedad de la vía	20
IX	Tipos de colisiones entre vehículos	23
X	Coeficientes de adherencia	47
XI	Tiempos de reacción del conductor	50
XII	Velocidad de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno	63
XIII	Dimensiones de los vehículos de diseño	69
XIV	Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño	69
XV	Distancia de visibilidad de parada y	

	de decisión, (a, b y c)	79
XVI	Distancia de visibilidad de adelantamiento (A, B)	85
XVII	Radios mínimos y grados mínimos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño	90
XVIII	Efecto combinado sobre la capacidad ideal del ancho de carril y la ubicación de las restricciones laterales	103
XIX	Anchos de carriles centrales para la carreteras de la red vial nacional	109
XX	Anchos mínimos de hombros y aceras	113
XXI	Aspectos operativos y de seguridad de las intersecciones	121
XXII	Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales	128
XXIII	Reducción de velocidad de vehículos pesados en pendientes ascendentes	129
XXIV	Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales	130

GLOSARIO

Accidentología	Investiga las causas que condujeron al accidente cualquiera que sea su característica y naturaleza.
Accidentología vial	Rama de la accidentología que se encarga del estudio y determinación de los accidentes de tránsito.
Ingeniería forense	Especialidad que engloba todas las actividades de la ingeniería relacionados con el poder judicial. Encargada de la investigación penal, en los aspectos relacionados a su materia.
Odómetro	Instrumento utilizado para medir distancias en un plano, el cual emplea como medida base el perímetro de una circunferencia, empleado generalmente en terrenos llanos.
Crepúsculo	Claridad que hay desde que raya el día has que sale el sol y desde que este se pone hasta que es de noche.

Coeficiente de rozamiento	Indica el grado en que dos cuerpos rozan entre si, cuanto mayor es la cifra, mayor en la adherencia existente. Dicho coeficiente siempre es relativo a dos superficies.
Coeficiente de fricción	Es el aporte de la superficie de la carretera al rozamiento.
Servofrenos	Elemento del sistema de frenos, el cual se utiliza para ofrecer una ayuda en la presión que se ejerce en el pedal del freno, mejorando la eficiencia de la frenada.
Inferencia	Sacar una consecuencia o deducir algo de otra cosa.
Intelección	Acción y efecto de entender.

RESUMEN

En un accidente de tránsito intervienen distintos factores, los cuales deben estudiarse a profundidad, estableciendo la incidencia de cada uno en la cadena de sucesos que conllevan a un evento de esta naturaleza. Para que ocurra un accidente de tránsito, deberán presentarse una serie de circunstancias tales como:

1. Un desperfecto mecánico en el vehículo
2. Factor humano
3. Una falla de diseño en la vía
4. Falta de señalización adecuada
5. Fenómenos Naturales

El primero de los factores mencionados anteriormente, corresponde a una situación en la que el conductor del vehículo mantiene cierto grado de responsabilidad, ya que debe ser de su conocimiento el estado general del vehículo, y del funcionamiento de los sistemas principales tales como el sistema de frenos y el sistema de dirección del vehículo, aunque este tipo de eventos se consideran como fortuitos.

Se entenderá como factor humano, toda personas o usuarios que de una u otra forma utilizan las vías, lo cual se puede dar de dos formas;

- a) Como conductor: su conducta se ve condicionada por factores internos (rasgos psicológicos) y factores externos (clima, tráfico etc.).
- b) Como peatón: el cual se ve expuesto a algunos de los factores externos e internos mencionados anteriormente.

El diseño de las carreteras esta íntimamente ligado a las características del tipo de vehículo que las utilizara, por lo tanto estas característica forman parte de la información esencial para la planificación de una vía. El Vehículo de Diseño, como se verá en el capítulo tres con más detalle, será que transite en mayor número por la vía en cuestión.

Las características del vehículo de diseño definen, el alineamiento geométrico de las carreteras. Para el análisis de los accidentes, es fundamental profundizar en el conocimiento del comportamiento, función y composición de todos los elementos que conforman un vehículo y su entorno vial.

Los accidentes, no importa su tipo y características son estudiados por una ciencia conocida como ACCIDENTOLOGÍA, la cual se encarga de analizar las causas posibles que condujeron a este tipo de lamentable final, nutriendo sus conocimientos de las ciencias tales como la física, matemática, medicina etc..

En lo que respecta a los accidentes viales, es la Accidentología Vial, la que se encarga del estudio y determinación de los posibles elementos responsables de los hechos de tránsito, siendo la física la principal ciencia utilizada en esta rama de la Accidentología y en especial la dinámica.

En la búsqueda de soluciones efectivas que reduzcan los acontecimientos de este tipo, son esenciales los datos estadísticos, con la finalidad de comprender cual o cuales son las razones más frecuentes de los accidentes. Con el conocimiento de cuales son las causas de accidentes

viales en el área urbana y rural, es posible la implementación de planes de contingencia, para la disminución de estos, así como la propuesta de reformas al programa escolar, entendiendo que solo se puede alcanzar una aceptable Seguridad Vial a medida que los usuarios de las vías, aprenda y conozcan cuales son las normativas y reglamentos que rigen el sistema vial, lo cual no es más que educación vial.

Con el propósito de conocer todas y cada una de las partes que integran los elementos geométricos de una vía, así como las que condicionan su diseño se preparo el capítulo número tres, cuatro y cinco.

En el capítulo número tres se hace mención de los elementos más importantes que condicionan el diseño geométrico de una vía, como por ejemplo la velocidad del proyecto, que es la velocidad a la cual se pretende que los vehículos que la transitaran, se trasladen bajo condiciones de eficiencia, seguridad y comodidad.

Esta velocidad dependerá del tipo de necesidades que pretende satisfacer la calle o carretera, del volumen de tránsito que se proyecta movilizar y del tipo de vehículos que se espera que la utilicen en mayor número. Este tipo de datos son importantes para la determinación del número de carriles y del ancho de los mismos, los cuales se diseñan en función de la composición del tránsito.

Uno de los aspectos más importantes que se mencionan en este capítulo, es la distancia de adelantamiento o de paso, que es la distancia recomendada para que en un sector de la vía se realice un rebase en forma segura por un vehículo que viaja a una velocidad mayor.

En el capítulo cuatro, se hace mención de los elementos geométricos horizontales de una vía. Tales elementos son de suma importancia para el desplazamiento adecuado y seguro de los vehículos, ya que son estos elementos los que rigen las características de las curvas, que son en cierta forma, el sector de las calles o carreteras más peligroso, ya que en ella se producen fenómenos que afectan directamente a los vehículos, como por ejemplo, la fuerza centrífuga y la fuerza de fricción lateral, las cuales se producen debido al cambio de dirección constante cuando un vehículo se moviliza sobre una curva.

Los elementos geométricos verticales de una vía, tal es el caso de las pendientes longitudinales y transversales, así como la descripción de las curvas verticales, son estudiados en el capítulo número cinco. En esta parte de la investigación, se hace referencia a la importancia del diseño de una pendiente adecuada y eficiente, que permita una reducción de la velocidad adecuada, de forma que los motores de los vehículos no trabajen de manera forzada.

El diseño del alineamiento vertical de una carretera, está íntimamente ligado a la topografía del terreno, de manera que el diseño eficiente, en un terreno montañoso, depende del factor económico, que se deriva del tamaño de movimiento de tierra que se debe de realizar para alcanzar un diseño vertical adecuado.

Así como es importante la realización de un buen diseño geométrico, tanto de los elementos horizontales como de los verticales, de una vía, así también es importante la buena señalización de las calles y carreteras, ya que

es por medio de estas, que se le informa al usuario de las advertencias y peligros a que se exponen al transitar por lo distintos sectores de sistema vial.

Es en el capítulo siete donde se puede encontrar información referente a lo mencionado anteriormente, en donde se especifica de forma amplia lo correspondiente a los criterios de instalación, la importancia de la visibilidad de las señales, formas y métodos de instalación.

La educación en general es la única forma de desarrollo a cualquier nivel, y la educación vial, no es la excepción, ya que sin este tipo de educación todos los elementos anteriores correspondientes al diseño de las carreteras, no son eficientes.

Por lo tanto el conocimiento de todas la directrices, por las que se rige el sistema vial es de suma importancia para los usuarios , profundizándose en este tema en el capítulo siete.

OBJETIVOS

- **Generales**

Encontrar soluciones que permitan reducir el número de accidentes de tránsito en las vías del transporte terrestre.

Disminuir las gravedad de este problema, a través del conocimiento de las causas más comunes de los accidentes.

□ **Específicos**

1. Mejorar el nivel de servicio de las calles y carreteras.
2. Ejecutar las normas y reglamentos reconocidos para el diseño de las vías.
3. Mejorar la circulación dentro de las áreas de conflicto.
4. Aumentar los conocimientos, en lo que se refiere al uso de la Ingeniería de Tránsito para el estudio y prevención de accidentes.
5. Determinar cuales son las causas más importantes que provocan hechos viales, mediante el estudio estadístico.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación pretende aportar información que contribuya a la disminución de los accidentes de tránsito. Las pérdidas por este tipo de lamentables hechos, son grandes, siendo las vidas humanas las más graves. El problema de los accidentes de tránsito, es una evidencia del mal o buen funcionamiento de una vía. Los accidentes de tránsito constituyen un problema prácticamente permanente. Para poder tomar medidas necesarias para su solución, se necesita de un conocimiento profundo de los factores que intervienen en ellos.

El avance de la industria automotriz y de la tecnología utilizada en los vehículos de nueva generación, está enfocado a alcanzar dos objetivos fundamentales que son, la comodidad del usuario y la velocidad de la transportación con un máximo de eficiencia del combustible.

Actualmente, uno de los factores que en la industria automotriz es de gran importancia, es la capacidad de seguridad que se le brinde a los tripulantes, esto como consecuencia del gran número de vidas que se pierden en accidentes de tránsito. El desarrollo de la tecnología aplicada a los automóviles, ha permitido que mejoren sus características en lo que respecta a la velocidad que pueden alcanzar, mientras que el desarrollo y remodelación de las carreteras no puede seguir el mismo ritmo. Esto ha contribuido a que las especificaciones de diseño de calles y carreteras, utilizadas, no satisfaga actualmente las necesidades de movilización los vehículos, pues corresponden a velocidades de diseño menor a las que cualquier vehículo desarrolla con facilidad.

Las características geométricas de una vía, se encuentran estrechamente relacionadas con el tipo y forma de los vehículos que van a utilizarla, por esto, interesa analizar los aspectos del trazado que estén en función de las características vehiculares y del comportamiento de los usuarios.

La señalización en calles y carreteras, es de gran importancia, ya que sirven para hacer llegar a los usuarios normas específicas a través de los símbolos o palabras que fueron establecidos oficialmente, con el propósito de regular y dirigir la circulación de los vehículos.

Cuando se tiene una vía señalizada adecuadamente, la circulación será más segura y más fluida. Actualmente en las carreteras y calles no existe una apropiada señalización que le brinde al conductor una mayor seguridad, máximo en horas de la noche, donde el piloto se ve sujeto a factores externos como el clima y la poca visibilidad. Las entidades responsables por velar que se respete el Reglamento de Tránsito, no cumplen con su papel de reguladores vehiculares, creándose un descontrol por parte de los usuarios de las vías, poniendo en peligro sus vidas y las de terceros por la imprudencia al conducirse sobre las mismas.

No solo un buen diseño de una vía o una buena señalización serán los factores que disminuyan la frecuencia de los accidentes de tránsito, el factor que interviene en gran manera en la prevención de accidentes, es la EDUCACIÓN VIAL. El objetivo de la educación vial, es informar a los usuarios de carreteras, las normas y reglas a las que tiene que regirse al momento de utilizar las vías del transporte terrestre.

1. ASPECTOS GENERALES DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Para tener una idea general del marco que encuadra la presente investigación, es necesario definir de una forma clara todos los elementos que intervienen en algún momento en los accidentes viales y los eventos relacionados con la dinámica vehicular, teniendo como principal objetivo, entender todos los campos que conforman el sistema tránsito.

¿Que es la Ingeniería de Tránsito?

La definición de Ingeniería de Tránsito que da el “*Instituto of Traffic Engeneering*” de los E.E.U.U dice que es; “La rama de la Ingeniería que trata del planeamiento de calles, carreteras, zonas anexas a ellas, del proyecto de sus características geométricas y de la circulación del tránsito en las mismas, en vistas a su empleo para transportar personas y cosas en forma segura, económica y cómoda”.

De la definición anterior determinamos que tanto el transporte terrestre de pasajeros, como el de carga, encuentran un instrumento de optimización en la Ingeniería de Transito.

En el estudio de la Ingeniería de Transito intervienen cuatro elementos que son: a. El peatón, b. El conductor, c. El vehículo y d. La vía, los cuales de definen a continuación:

El peatón

Se denomina “Peatón” a las personas que utilizan una zona de la vía ya sea esta urbana o rural. Recientemente este aspecto ha tenido relevancia en el estudio de la incidencia de accidentes, ya que en gran cantidad de ellos se encuentran relacionados de alguna forma.

1.3 El conductor

Llamaremos conductor a toda persona, hombre o mujer, que opere un vehículo motorizado o no motorizado. El conductor representa uno de los factores más importantes en el estudio de los accidentes de tránsito, ya que este está influenciado por condiciones climáticas, emocionales, físicas y de la vía, debido a que el diseño tanto de las carreteras como el de los automóviles está dirigido a la seguridad, y comodidad de este.

1.4 El vehículo

Corresponde a cualquier medio de transporte motorizado y no motorizado que transita por el sistema vial. La tipología de los vehículos que transitan sobre una carretera, ya sea urbana o rural, se divide en un extremo a **los vehículos livianos**, que son los más numerosos en la corriente de tránsito, mientras que **los vehículos pesados**, en el otro extremo de la clasificación vehicular. La característica del diseño geométrico de una carretera, está relacionado al tipo de vehículos que predominan en el tránsito de la vía, ya que este diseño depende de las características del vehículo de diseño y de las exigencias en el tránsito que se desplaza por las calles y carreteras.

1.5 La vía

Se denomina así al terreno destinado y acomodado para la circulación de vehículos teniendo destinada parte de su sección para los peatones. Representa un porcentaje significativo en la utilización del suelo en áreas urbanas, ya que el desarrollo de la ciudades depende del buen funcionamiento de estas.

Dentro del territorio centroamericano, todo el transporte terrestre se realiza por carreteras por lo tanto este es de gran importancia en el desarrollo económico de toda la región ya que más de cien mil kilómetros de carretera de todo tipo enlazan las áreas rurales con las ciudades, donde una red aun más extensa de calles y arterias urbanas complementan la infraestructura disponible para satisfacer las necesidades de movilidad de las personas y mercancías desde su punto de origen hasta su lugar de destino.

El buen funcionamiento de la red de carreteras es, por lo tanto, crucial para el desarrollo seguro y eficiente de las actividades socioeconómicas del país.

Las vías puede clasificarse atendiendo a necesidades determinadas, por ejemplo pueden ser; urbanas ó rurales, dependiendo de la zona donde se ubiquen. También se clasifican por su funcionalidad de la siguiente manera:

a. Autopistas: su objetivo, es la movilización de grandes volúmenes de tránsito a través o entre áreas urbanas. Su característica principal es la separación completa de flujos de vehículos y de tránsito conflictivo.

b. Arterias: este tipo de carretera mantiene un sensible balance entre su función complementaria de movilidad de tráfico y su importante función de acceso a las propiedades colindantes. Su objetivo es propiciar el movimiento del tránsito a través de las ciudades y servir directamente a los principales generadores de tráfico en las zona urbanas.

c. Colectora: el objetivo principal de este tipo de vía es proveer servicio directo a las áreas residenciales. Este tipo de arteria recoge el tránsito local de los vecindarios y los lleva a la arteria más cercana.

d. Local: su objetivo, es proveer de acceso a las propiedades residenciales, comerciales, industriales u otras tierras, generalmente se conectan a calles colectoras o arterias.

1.6 Accidente de Tránsito

Según la Real Academia Española, *accidente* es “un suceso eventual del que involuntariamente resulta daño para las personas o las cosas”, por lo que podemos decir que un Accidente de Tránsito es un acontecimiento inesperado donde pueden interactuar automóviles, peatones, motocicletas, buses etc, y cualquier otro usuario de las vías, donde se desarrolla un hecho no premeditado, que contiene un elemento de azar y cuyos resultados son indeseables e infortunados.

En un Accidente de Tránsito cualquiera, siempre debe tomarse el factor imprevisión y las causales que condujeron a él.

Como se aprecia, del concepto de la definición expuesta, surge claramente la amplitud de esta, debiendo dirigirnos hacia una especialización o rama de la Accidentología; si el problema lo queremos examinar en el ámbito de la problemática de la **Accidentología Vial** o de tránsito.

1.7 Sistema Vial

Se entenderá como **sistema vial**, al conjunto de elementos que intervienen en el traslado cómodo, seguro y económico de personas y objetos. El Sistema Vial constituye el eje principal para el desarrollo ordenado de las actividades socioeconómica de una ciudad, ya que una movilidad adecuada produce una comunicación eficiente, la cual tiene que satisfacer las necesidades de una sociedad activa y en constante movimiento.

El Sistema Vial se compone de los siguientes subsistemas:

- **Subsistema infraestructura:** que incluye todo lo correspondiente a: derechos de vía y todos los elementos que la conforman, así como lo correspondiente a los materiales empleados en la construcción de las vías y su sistema de mantenimiento.
- **Subsistema medio de traslado:** comprende todo método de transporte ya sea motorizado y no motorizado que se movilicen sobre las vías, interviniendo en los aspectos mecánicos de los vehículos.
- **Subsistema factor humano:** se refiere a los peatones, pasajeros y operadores de vehículos que utilicen las vías ya sea de una forma activa o pasiva.

- **Subsistema ambiente:** se divide en ambiente natural y ambiente modificado, siendo el primero todo lo relacionado al clima, topografía, flora y fauna del entorno de una vía, y el segundo, lo concerniente a las modificaciones de la zonas urbanas y su contaminación.
- **Subsistema administrativo:** corresponde todo lo relacionado a las Leyes, Normas y Reglamentos que se rigen en las calles y carreteras tomando en cuenta todos los aspectos operacionales e institucionales del sistema vial.

1.8 Datos estadísticos de accidentes de tránsito

Aunque las causas de accidentes de tránsito son, por lo general, una combinación de factores exógenos, también existen otros elementos que pueden traducirse en la realidad como determinantes de una colisión. Los actos anteriores al choque, son factores simultáneos que comienzan a mover la cadena de sucesos imponderables, los cuales pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

- Factores de orden operacional
- Factores de orden condicional

Dentro del primer grupo, podemos colocar las siguientes situaciones:

- Táctica evasiva inapropiadamente seleccionada
- Excesiva velocidad de circulación
- Estrategia elegida tardíamente
- Falla en el diseño de la vía

a. Táctica evasiva inapropiadamente seleccionada: una falla en la ejecución de un acto comprendido dentro de la cadena de sucesos previos al accidente contribuye, sin duda, a que este se produzca. Cuando la decisión evasiva es tomada tardíamente, puede llegar a cometer otras acciones que agraven el accidente. Un accidente consumado refleja errores en la conducción, en cuanto a la táctica evasiva, por lo menos en uno de sus conductores.

b. Excesiva velocidad de circulación: en la gran mayoría de los casos, la excesiva velocidad es conducente a la producción de accidentes, ya sea por la situación de ingobernabilidad del vehículo, que se le plantea en determinado momento al conductor ó por la imposibilidad de evitar que se presenta ante él. Es decir, la excesiva velocidad puede colocar al conductor en una situación donde sea imposible percibir de manera apropiada un peligro inminente.

c. Estrategia elegida tardíamente: la decisión correcta, consiste en seleccionar las maniobras adecuadas. Esta decisión, elegida tardíamente en la cadena de sucesos de un peligro de colisión inminente, será, en la gran mayoría de los casos, causa de la producción de accidentes.

d. Falla en el diseño de la vía: una vía correctamente diseñada, es aquella que le proporciona al usuario un alto grado de seguridad, tanto en el diseño geométrico, como en la señalización que se coloque a lo largo de la carretera para advertir de los posibles peligros y límites a que debe de regirse el conductor.

Los obstáculos visuales más comunes, tales como el cambio de rasante inesperado, la depresión drástica de la ruta, una curva muy cerrada después de una tangente larga, etc, son ejemplo de una deficiencia de el diseño de la vía. Si en una curva, la calzada está más elevada en la parte exterior que

en la parte interna, se dice que tiene peralte. Esta pendiente o sobre elevación transversal, hacia el exterior de la curva impide que los vehículos puedan deslizarse en forma lateral, dándole a los usuarios mayor seguridad al transitar por curvas.

e. Falta de educación vial: en las calles circulan vehículos a distintas velocidades, los camiones y autobuses no pueden moverse con la misma velocidad, esto no debería constituir motivo de accidentes si todos utilizaran el carril que les corresponde, desafortunadamente esto no ocurre y los vehículos que circulan despacio ocupan el carril que sea, si importar los conflictos que ocasionan, esto no es mas que la falta de Educación Vial de los conductores.

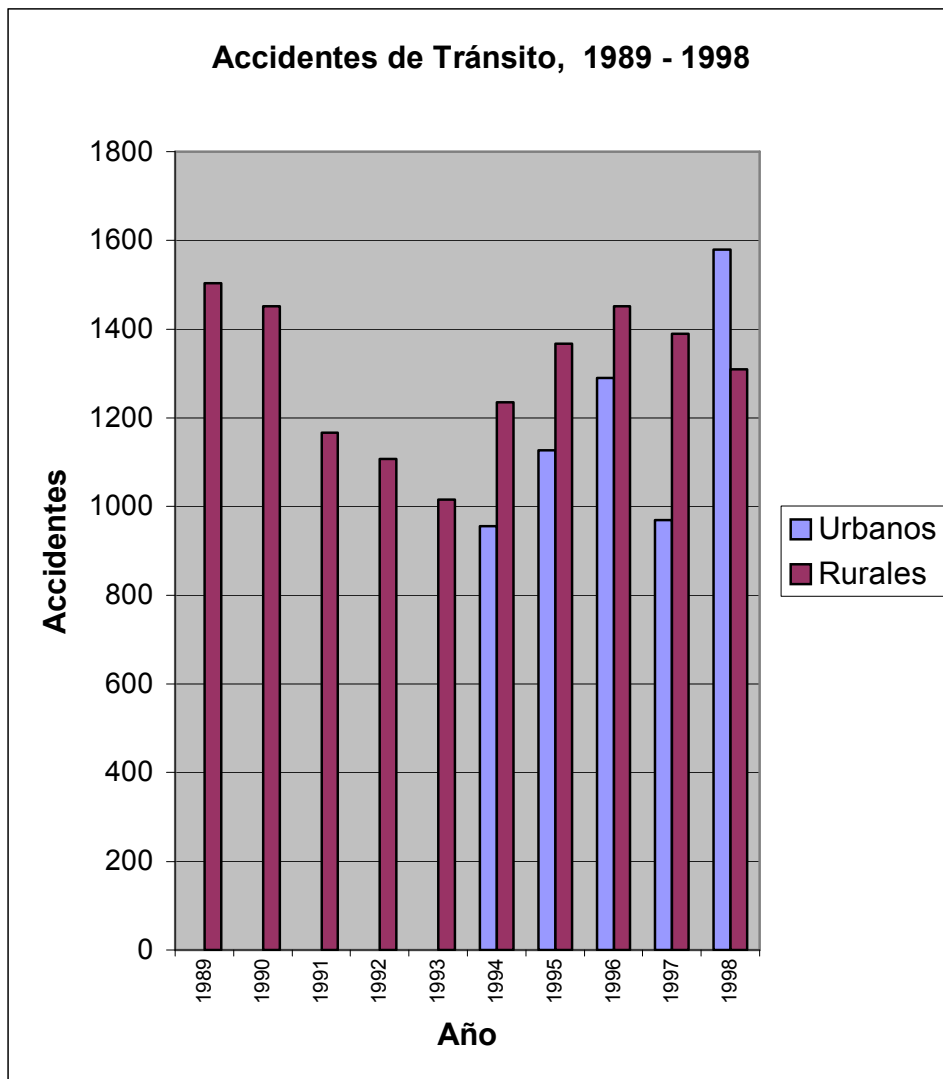
Dentro de los factor de orden condicional tenemos:

- La oscuridad: es un factor del accidente, solo si éste no hubiera ocurrido en el día.
- La niebla y el humo: son similares a la oscuridad, porque en la mayoría de los accidentes de transito en los cuales intervienen, la causa es el exceso de velocidad para las condiciones de visibilidad reinantes.
- La lluvia y la nieve: como ya se ha dicho, presentan dos problemas a los conductores, que, en realidad, no son problemas atmosféricos. Uno es el carácter deslizante que adquiere el pavimento y otro el empañamiento de los cristales del vehículo.

- Pavimentos irregulares: pueden hacer que el vehículo pierda el control, vuelque o frene tan violentamente que suponga un peligro.
- Curvas: si un vehículo circula a gran velocidad en una curva, patinará o se deslizará.
- Velocidad crítica en curvas: cuando un automóvil rebasa la velocidad crítica en una curva, se produce un resbalamiento lateral, producida porque la fuerza centrífuga ha sido mayor que las que se oponen a su actuación libre, tales como las fuerzas de fricción.

A continuación se presenta una grafica del los Accidentes de Transito en las áreas Urbanas y Rurales del país entre los años de 1989 a 1998.

Figura 1. Accidentes de tránsito, 1989 - 1998



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito.

Causas de Accidentes en Áreas Urbanas

A continuación se muestra un cuadro en donde se ilustra el número de Accidentes de Tránsito por causa, que ocurrieron en el año de 1998.

Tabla I. Causa de accidentes en áreas urbanas, 1998.

Causa de Accidentes	Total
Departamento de Guatemala	1579
Exceso de Velocidad	495
Descuido al salir del estacionamiento	10
No hacer la parada reglamentaria	35
No atender a los semáforos	10
Exceso de pasaje	10
Por evitar choque	10
Por falta de mantenimiento	20
No formar Cordón	-
No Guardar la distancia reglamentaria	5
Drogadicción del Piloto	10
Drogadicción del Peatón	5
Ebriedad de piloto	575
Ebriedad del peatón	35
Encandilamiento	5
Imprudencia del peatón	160
Rebasando	15
Retrocediendo	-
Ir en sentido contrario	20
No obedecer las señales de tránsito	65
Exceso de Peso	3
Viraje en U	8
No ir a la velocidad de seguridad	55
No tomar precaución al adelantarse	5
No usar el carril indicado	4
Por hacer maniobras indebidas	8
Distraído	4
No llevar luces respectivas	6
Mal estacionado	1

En la zona urbana del país, más del 36.4% de los accidentes de tránsito ocurren con personas en estado patológico anormal, o sea, que no están bajo los efectos del alcohol o drogas. Siendo en un 50%, mayor la cantidad de pilotos de sexo masculino los que se encuentran es este tipo de situaciones.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998.

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, las principales causas de accidentes son:

Exceso de velocidad: debido al desarrollo en los avances de la tecnología automotriz, las velocidades de diseño de las vías, son en ocasiones muy reducidas, comparadas con las que cualquier vehículo de nueva generación logra alcanzar. Este ritmo de mejoras en las características de los vehículos no es la misma a la que se mejoran la características geométricas de las rutas, poniéndose de manifiesto la innegable necesidad de la Educación Vial, la de adecuada señalización y control de las autoridades correspondientes.

Ebriedad del piloto: esta causa de accidentes de tránsito es la más frecuente en la zona urbana, según se muestra en el cuadro anterior. Representa uno de los problemas más grandes en lo que respecta a Seguridad Vial, ya que para tratarlo se le debe hacer frente desde distintos sectores, siendo el más eficiente, la “Prevención”, enfocado desde la rigurosa “Sanción”, por conducir bajo estado de ebriedad, como también por el lado de la “Consientización” de los pilotos, empleando para ello todos los medios de comunicación posibles.

Los incidentes de este tipo aumentan en un gran porcentaje los días viernes, sábado y domingo, que son los días que es mayor el consumo de bebidas alcohólicas.

Imprudencia del peatón: este factor de accidentes, se convierte en uno de los más importantes debido a la falta de conocimiento del adecuado uso de las áreas peatonales de las vías. La educación vial, es la única forma de reducir estos incidentes, ya que en la medida en la que el peatón conozca todas las directrices para un seguro transitar por las vías peatonales y la intersecciones con las vías designadas para los rodados, disminuirá el número de conflictos de este tipo.

A continuación se presentan los reportes de lesionados y muertos, producidos por accidentes de tránsito en la zona urbana en el año de 1998.

Tabla II. Lesionados en accidentes de tránsito

Lesionados en accidentes de tránsito								
TOTAL			ESTADO PATOLÓGICO					
			EBRIO			NO EBRIO		
TOTAL	Hombres	Mujeres	TOTAL	Hombres	Mujeres	TOTAL	Hombres	Mujeres
204	134	70	33	29	4	169	103	66

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998.

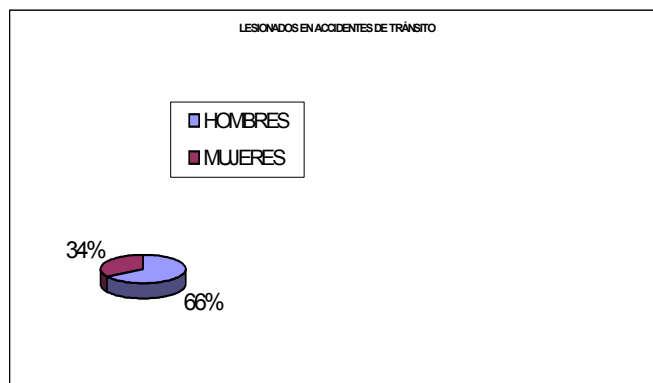
Tabla III. Muertos en accidentes de tránsito

Muertos en Accidentes de Tránsito											
TOTAL			CONDICIÓN Y SEXO								
			CONDUCTOR			PEATÓN			PASAJERO		
TOTAL	Hombres	Mujeres	TOTAL	Hombres	Mujeres	TOTAL	Hombres	Mujeres	TOTAL	Hombres	Mujeres
386	315	71	114	110	4	119	92	27	153	113	40

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998.

En la Figura 2, se ilustra la incidencia de los accidentes clasificándolos por sexo, graficando el gran porcentaje de lesiones de sexo masculino.

Figura 2. Lesionados en accidentes de tránsito

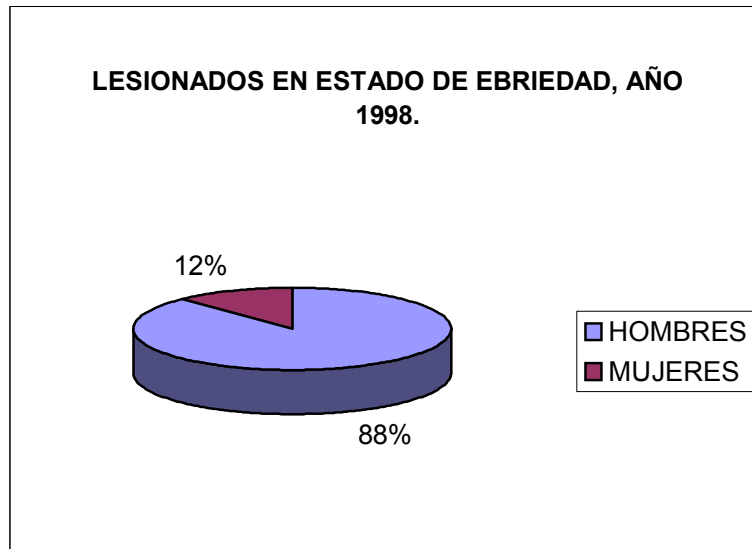


Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998.

La figura 3, que se muestra a continuación ilustra el porcentaje de lesionados por accidentes viales en la zona urbana, provocados por el consumo de bebidas alcohólicas por hombres y mujeres.

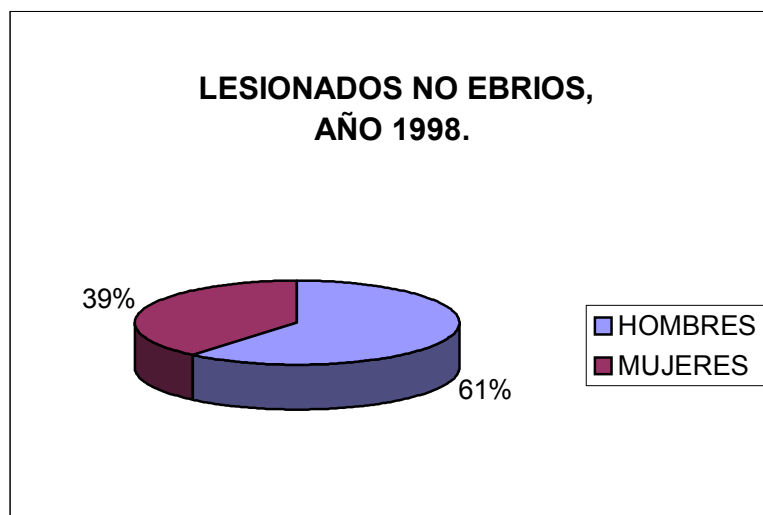
En la figura 4, se muestran el porcentaje de lesionados en accidentes de tránsito en el año 1998, los cuales no se encontraban bajo los efectos de bebidas alcohólicas.

Figura 3. Lesionados en estado de ebriedad, 1998



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998

Figura No. 4 Lesionados no ebrios, 1998



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998

distancia correspondiente, 2.1%, no obedecer las señales de tránsito, 5.6%, y otras. Las anteriores causas suman en total 21.43%, las cuales se producen como consecuencia de la falta de educación vial, y control por parte de las autoridades correspondientes de velar que se cumpla el Reglamento de tránsito.

Otro de los aspectos importantes, es, el echo que se de, un 3% de accidentes por la falta de mantenimiento en las carreteras, un porcentaje aparentemente bajo, pero que no debería de existir, ya que es un factor provocado por el descuido de las vías.

1.8.3 Razones aparentes más frecuentes de los accidentes de tránsito en Guatemala

A nivel nacional las causas aparentes de accidentes de tránsito pueden ser diferentes dependiendo de la región del país, en general las más importantes son las siguientes: el exceso de velocidad, ebriedad del piloto y la imprudencia del peatón, según la Tabla V, en donde se muestra las causas accidentes ocurridos entre los años de 1994 a 1998.

Es importante hacer notar que los datos sobre accidentes viales, son recopilados por el Instituto Nacional de Estadística, INE, auxiliándose de los informes de hospitales privados, Cuerpos de Bomberos Municipales y Voluntarios, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, (I.G.S.S), y los informes de la Policía Municipal de Tránsito, de la ciudad de Guatemala.

Tabla V. Causa de accidentes en Guatemala

Año	1994	1995	1996	1997	1998
Total	2191	2494	2742	2358	1527
Causa de Accidentes					
Exceso de Velocidad	744	909	1023	1134	620
Descuido al salir del estacionamiento	37	36	78	19	13
No hacer la parada reglamentaria	141	229	208	118	39
No atender a los semáforos	27	29	60	44	3
Exceso de pasaje	7	14	12	19	10
Por evitar choque	39	43	41	41	24
Por falta de mantenimiento	79	84	102	88	40
No formar Cordón	12	5	14	5	4
No Guardar la distancia reglamentaria	83	104	87	39	14
Drogadicción del Piloto	6	3	13	4	7
Drogadicción del Peatón	4	2	2	1	1
Ebriedad de piloto	392	413	421	316	366
Ebriedad del peatón	16	25	22	22	19
Encandilamiento	15	8	15	5	9
Imprudencia del peatón	125	164	160	159	99
Rebasando	54	52	73	32	29
Retrocediendo	15	6	23	14	4
Ir en sentido contrario	24	34	43	13	16
No obedecer las señales de tránsito	29	36	64	57	9
Exceso de Peso	6	4	10	4	8
Viraje en U	14	11	29	10	9
No ir a la velocidad de seguridad	116	89	73	104	121
No tomar precaución al adelantarse	14	15	19	16	6
No usar el carril indicado	23	30	19	8	6
Por hacer maniobras indebidas	46	64	61	21	18
Distraído	78	55	48	48	36
No llevar luces respectivas	2	2	4	2	1
Mal estacionado	8	4	7	6	4

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito.

La falta de mantenimiento de las carreteras, no es de los porcentajes más altos en la incidencia de los accidentes de tránsito, según se vio en el cuadro anterior, pero esta no debería de ser una causa de estos, ya que el mantenimiento de la Red Vial debería ser constante para evitar el deterioro prematuro de la vía y de sus elementos, tales como, la carpeta asfáltica, los elementos de señalización del tránsito etc. A continuación se muestra el

Cuadro No. 6, que ilustra la incidencia de esta causa de accidentes y la importancia del mantenimiento de las calles y carreteras para la seguridad de los usuarios.

Tabla VI. Muertos y lesionados por falta de mantenimiento de calles y carreteras

Muertos y lesionados por falta de mantenimiento en las calles y carreteras						
AÑO	1994	1995	1996	1997	1998	TOTAL
Total Lesionados	2664	3032	3336	2869	1858	13759
Lesionados por falta de mantenimiento.	96	102	124	107	48	477
Total Muertos	666	623	685	559	381	2914
Muertos por falta de mantenimiento.	24	21	25	21	10	101

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito.

El cuadro que se presenta a continuación presenta los accidentes de tránsito ocurridos en el año 1998, a nivel nacional, clasificados por vehículo, donde se ilustra cual es el tipo de vehículo que más frecuentemente se ve involucrado en hechos de tránsito.

Tabla VII. Accidentes por tipo de vehículo

TOTAL	Automóvil	Camión /PicKup	Motocicleta	Bus Extraurbano	Trailer	Jeep/ Panel	Bicicleta	Vehículo Agrícola
1527	492	651	55	97	66	53	7	14

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito.

Las condiciones de la vía, es uno de los factores que más intervienen la incidencia de los accidentes de tránsito. Como se verá más adelante, las condiciones de humedad de la superficie de rodadura, es un factor potencial, que incide en la ocurrencia de accidentes, ya que la presencia de agua en el pavimento forma una capa entre la superficie de rodadura y los neumáticos del vehículo, provocando una reducción del área de contacto y por lo tanto la fricción y la adherencia de los mismos disminuye. Otro de los factores negativos de la lluvia, es la reducción de la visibilidad. Contrario a lo mencionado anteriormente, la mayor cantidad de hechos viales ocurridos en el año de 1998, se produjeron sobre superficies en buenas condiciones, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla VIII. Accidentes de tránsito debidos a las condiciones de humedad de la vía

Accidentes de tránsito debidos a las condiciones de humedad de la vía				
	TOTAL	Seca	Mojada	Otra
	1527	1390	131	6
Tierra	101	73	23	5
Pavimento	1421	1312	108	1

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Estadística sobre Accidentes de Tránsito, 1998.

2. PERITAJE ACCIDENTOLÓGICO VIAL

El peritaje en accidentes de tránsito es una valiosa herramienta utilizada para hacer diferencia entre las causas aparentes y las causas reales que ocasionan hechos de tránsito. El experto necesita tener, una preparación

especial que le permita diferenciar con exactitud y justeza las divergencias que le plantea un hecho de otro, así como la cadena de sucesos que llevaron a la producción de los mismos. A continuación se exponen los elementos más importantes que intervienen en un peritaje accidentológico vial.

2.1 Accidentología Vial:

La Accidentología, se encarga de la investigación de las causas que condujeron al accidente cualquiera que sea su característica y naturaleza. Se nutre de las ciencias clásicas como la Física, Matemática y Ciencias Médicas, principalmente. La Accidentología Vial, como una rama de la Accidentología, trata de establecer las causas reales de un accidente de tránsito o que se produzca en un entorno vial. Una investigación accidentológica vial correcta debe ser encarada en una forma multidisciplinaria, con especialistas en Accidentología, Ingeniería Vial, Ingeniería Mecánica y Traumatología. Los expertos en el tema son auxiliares valiosos de la Ingeniería Forense, (del latín “mercado” o “sala de juicios”), que es la especialidad que engloba todas las actividades de la ingeniería relacionadas con el poder judicial. La Ingeniería Forense, se encarga de la investigación Penal, en los aspectos relacionados a su materia.

Entre las diversas disciplinas que permiten a la Accidentología Vial un estudio apropiado, la física ejerce un papel preponderante, y, dentro de ella, la Dinámica, pues esta rama abarca todo lo atinente a las fuerzas que inciden en el movimiento de los vehículos. De esto se desprende, entonces, que la denominación correcta de esta rama de la Accidentología debería ser **Autodinámica vehicular**.

Podemos definir entonces a la autodinámica vehicular, como la rama de la Accidentología que se encarga del estudio, tratamiento y determinación de las causas del accidente de tránsito, de sus características y de las tendencias a tratar de contrarrestarlo.

2.2 Tipos de colisiones

Un elemento fundamental que incide decisivamente en las consecuencias de una colisión, es el modo en que se conjugan las fuerzas que trae cada vehículo en su avance; a este aspecto del accidente se le denomina Tipo de Colisión.

El tipo de colisión no solo es importante en cuanto al ángulo de incidencia, sino también, respecto a las características de cada uno de los vehículos que han producido la colisión, es decir, quienes han sido participantes del accidente. Partiendo de la base de que todos los elementos que circulan por rutas, calles y carreteras, tendremos que los accidentes pueden producirse mediante la interacción de los siguientes sujetos:

- Vehículo en marcha.
- Otro vehículo también en marcha o, en su defecto detenido.
- Peatón.
- Tren (Ferrocarril)
- Animal (Irracional)
- Ciclista.

- Objeto Fijo.

Tabla IX. Tipos de colisiones entre vehículos

Choque Frontal	Central.	Ambos vehículos en marcha.
	Excéntrico.	
Choque Paralelo	Central con marcha en igual sentido.	Un Vehículo detenido.
	Excéntrico con marcha en igual sentido.	
	Paralelo propiamente dicho, con marcha en sentido contrario.	
	Paralelo propiamente dicho, con marcha en igual sentido.	
	Paralelo excéntrico, con marcha en sentido contrario.	
Choque Perpendicular	Agudo	Delantero
	Recto	Medio
	Obtuso	Trasero

Fuente: Manual de Criminalística, Raúl Enrique Zajaczkowski, Buenos Aires, Argentina, 1998.

Es indispensable verificar y determinar fehacientemente estos elementos al momento de la inspección ocular pues serán determinantes para dilucidar la velocidad de cada vehículo al momento de la colisión. A continuación se presentan los croquis ilustrativos de todas las variables posibles señaladas anteriormente.

FIGURA 5. TIPOS DE COLOSIONES ENTRE VEHICULOS

2.3 Puntos de referencia:

El lugar del accidente es donde se obtienen innumerables datos sobre las características del hecho de tránsito, pero esta búsqueda no debe estar restringida a unos cuantos metros alrededor del lugar de impacto aparente o real, sino que deberá extenderse a considerable distancia, a efecto de recolectar la mayor cantidad de datos posibles.

Siempre que las investigaciones se lleven a cabo sistemáticamente, dejando de lado testimonios conjeturales sobre el episodio, los resultados obtenidos serán satisfactorios. El profesional debe muñirse de un equipo portátil con elementos que le pueden ser útiles al momento de realizar la inspección ocular. Podemos mencionar entre ellos, los siguientes:

- Cinta métrica de 3 a 5 metros
- Cinta métrica de 25 metros
- Tizas blancas y de colores
- Brújula magnética
- Carpeta o tablilla
- Linterna
- Lápiz
- Goma de Borrarr
- Objeto pesado, para enganchar la cinta, si no tiene colaborador
- Odómetro
- Papel en blanco

El trabajo de inspección ocular, requiere del operador extrema paciencia y, sobre todo, minuciosidad. Es importante recordar que el proceso de toma de medidas en el lugar es prácticamente imposible de repetir por la desaparición de huellas relacionadas con el hecho. Por lo tanto, el investigador a cargo de la tarea debe planificar su actividad teniendo en cuenta el grado de urgencia que tiene la ubicación de cada una de la evidencias en el croquis, para iniciar la actividad con las más apremiantes.

Para determinar cual de ellas es más urgente, se debe buscar aquellas marcas, que por su ubicación, características y producción, sean susceptibles de modificarse o desaparecer. A continuación se enumeran algunas de ellas:

- Huellas de neumáticos
- Pequeños charcos de gasolina o agua
- Residuos o barro desprendido de los vehículos
- Posición de los cuerpos
- Manchas diversas (Aceite, Sangre, etc.)

Registrada las marcas más urgentes o prioritarias, la actividad deberá ser complementada con todas las referencias de puntos fijos y móviles del escenario que permitan reconstruirlo correctamente.

Puntos fijos: se denominan Puntos Fijos, a los elementos componentes del lugar del hecho que sirven como referencia perdurable, ya sea por su conformación o por su finalidad, y que probablemente permanecerán algún tiempo más (árboles, puentes, viviendas, postes de luz, etc.).

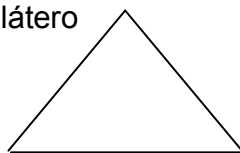
Puntos móviles: son puntos móviles, todos los objetos depositados en el lugar del hecho como producto del accidente; transcurrido cierto tiempo, estos desaparecerán (posición final de los vehículos, marcas de frenadas, marcas de derrape, manchas diversas, accesorios desprendidos de los vehículos, etc.)

La ubicación correcta de cada uno de los elementos descritos, es una tarea que requiere la aplicación de conocimientos de geometría; de no ser así, se corre peligro de ubicar puntos fijos y móviles inadecuadamente, provocando subsiguientes confusiones.

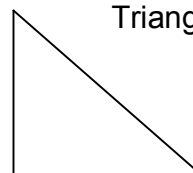
Existe una técnica, basada en el **Método de Triangulación**, utilizado en Topografía, que aplicada al momento de tomar las medidas, permitirá desplegar mediante el croquis las diversas medidas volcadas con claridad y exactitud. Partiendo de un punto fijo cualquiera del escenario, se buscan otros dos elementos que permitan imaginariamente formar triángulo entre ellos, quedando de este modo perfectamente ubicados en el croquis.

En el diagrama que sigue, vemos ejemplos de dos triangulaciones basados en la correcta disposición de los puntos fijos y móviles.

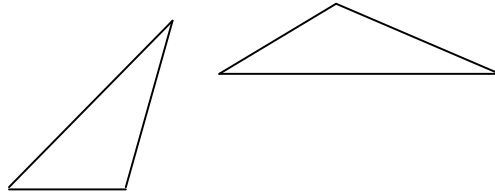
Triangulo Equilátero



Triangulo Rectángulo



A continuación observaremos dos ejemplos de triangulaciones incorrectas, que llevarán irremediablemente a errores posteriores.



2.4 Marcas de frenada:

En lo relacionado a la seguridad vial, uno de los aspectos más importantes es el referido a la capacidad del vehículo para reducir la velocidad y detenerse, y por sobre todas las cosas, el comportamiento de este en cualquier circunstancia de desaceleración o frenada.

El comportamiento de un vehículo al frenar dependerá de varios factores, principalmente del equilibrio y compensación de los diversos circuitos interconectados al sistema de Frenos del vehículo.

El comportamiento adecuado de suspensión y amortiguadores en la frenada tiene vital importancia para la desaceleración apropiada. Se ha probado que un amortiguador defectuoso puede hacer peligrar la estabilidad del vehículo en la frenada y el modo como esta se extiende en condiciones determinadas.

Cuando se acciona el sistema de frenos del vehículo, la fricción que se produce entre la superficie del neumático y la del pavimento eleva la temperatura del primero, depositando en el piso, por desprendimiento, una delgada capa del compuesto neumático. En oportunidades, debido a la composición de la cubierta, la fricción limpia la superficie del suelo, este fenómeno se determina marcas de patinaje.

Las huellas de frenaje o patinaje son, sin duda, indispensables en la investigación, pero si se les desea tomar como prueba del accidente, el registro preciso será fundamental. Saber diferenciar entre las marcas de frenaje o de patinaje y las huellas normales del dibujo neumático es decisivo, la tarea no es sencilla, especialmente si la superficie está mojada.

La identificación del inicio y del final de una marca de frenada o de patinada, será trascendental para la posterior determinación de la velocidad de circulación del vehículo.

La presencia de residuos componentes de la superficie neumática es un indicio revelador de la existencia de una frenada, que tendrá mayor bloqueo neumático cuanto más importante sea el desprendimiento del caucho.

También en el caso de los patinajes, la mayor limpieza del sector donde pasa la huella será un indicador de un bloqueo completa de ruedas.

Para diferenciar una marca de frenada de emergencia de una de frenada normal, es necesario conocer aspectos relacionados con cada uno de los procesos. Las frenadas de emergencia están generalmente acompañadas de derrapes de los vehículos hacia los laterales, debido a que el conductor pretende desviar o evitar el impacto, son continuas y presentan un gran desprendimiento de caucho (limpieza en los casos de patinaje).

Las frenadas normales son entre cortadas y poco extensas, porque el conductor no mantiene presionado el pedal del freno. Una marca de frenada nunca es completa o plena, y su observación detenida permite una fácil identificación.

FIGURA 6
Dibujo de frenadas de carro

2.5 Sistemas de frenos

Para detener la marcha del vehículo se utiliza, en primer lugar, la resistencia al giro que pone el motor cuando el vehículo es arrastrado desde las ruedas motrices por el impulso. Al levantar el pie del acelerador, el motor tiende a caer de revoluciones, de modo que su giro forzado frena y disminuye la velocidad del vehículo. Este uso del motor como freno libre y desembrague automático tiene las aplicaciones limitadas.

En un vehículo de potencia media, la aceleración proporcionada por el motor es muy poderosa, y desde el momento del arranque hasta alcanzar los 60 Km/hr transcurren quince segundos durante los cuales el automóvil recorre unos 140 metros, si a esa velocidad se aplica la máxima fuerza de los frenos, el vehículo se detiene aproximadamente a los veinte metros en menos de dos segundos y medio, es decir, que la desaceleración conseguida es seis veces mayor que la aceleración que puede proporcionar el motor, si la potencia de este es de 60 caballos, el rápido esfuerzo de los frenos resultaría ser de más del doble.

El frenado consiste en la aplicación de una superficie fija contra un tambor giratorio, el frotamiento contiene el giro de la parte móvil. Convirtiéndose la energía absorbida en calor, que se disipa por radiación hacia la atmósfera. Cuanto mayor sea la presión con que se aplican los frenos, mayor será el efecto de frenado.

Ahora bien, recordemos que para propulsar el vehículo se utiliza la adherencia de las bandas de rodadura de las ruedas con el piso (si el esfuerzo de rotación es mayor que la adherencia, las ruedas patinan y no avanzan), del mismo modo, el esfuerzo de frenado utiliza como punto de apoyo esa misma adherencia, de modo que la resistencia aplicada al giro de las ruedas tiene como límite el bloqueo o acuñaado de éstas, momento en el cual los bandajes dejan de rodar, aferrándose a la aspereza del suelo y resbalan frotando sobre él.

Contrariamente a lo que podría parecer a primera vista, este esfuerzo retardatorio, es menor que el de rodamiento contenido, además un vehículo con las ruedas traseras bloqueadas tiende a irse de costado (colea), y si son las delanteras pierde en parte la dirección, pues sigue avanzando en recta, por lo tanto es muy importante que los frenos actúen asta casi agarrotar las ruedas sin llegar a bloquearlas.

Por lo dicho, se deduce que la eficacia del frenado depende, en última instancia, de la calidad, desgaste de la cubiertas, del estado y clase de pavimento; un vehículo con los neumáticos gastados y lisos, sobre piso de asfalto mojado tiene un “agarre” mucho menor que con las cubiertas nuevas sobre hormigón seco, en el primer caso, agarrotara con facilidad sus ruedas, patinando peligrosamente si el conductor no tiene presente que, mientras más potentes sean sus mecanismos de frendo, más cuidadoso debe se usarlos sobre pisos resbaladizos. Los sistemas de frenos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Frenos hidráulicos: son los usados en gran cantidad de vehículos, en el cual, el pedal del freno mueve un pistón dentro de un cilindro que comprime un líquido transmitiendo la presión que llega por las tuberías hasta el sistema de frenos de las ruedas delanteras y traseras, estas se comprimen energicamente contra los tambores.

Frenos mecánicos: la acción mecánica sobre los frenos, esta conformada por una palanca que hace girar la leva que separa las zapatas y las aplica contra el tambor. Es necesario realizar permanentes ajustes al aparejo de varillas y palancas que desde el pedal acciona las levas.

Servofrenos: Para que el esfuerzo aplicado por el conductor sobre el pedal del freno no tenga que ser considerable, se usan, especialmente, en vehículos grandes o pesados (camiones, autobuses etc.), los servofrenos, que ayudan con su fuerza a la acción del chofer sobre el pedal.

Sistema antibloqueo de ruedas (ABS): este mecanismo permite evitar los problemas que frecuentemente se producen cuando se bloquean los neumáticos. Es una unidad de control que recibe información de receptores (tacómetros) ubicados en las ruedas. La unidad de control verifica el valor de la desaceleración angular en caso de frenada y, cuando ésta o la velocidad adquieren valores que indican que el punto de bloque de las llantas esta próximo, actúan sobre los frenos de la correspondiente rueda, disminuyendo la presión y por tanto, el frenado a un valor inferior al que produce el bloqueo. Se ha determinado que este descubrimiento supone un adelanto muy importante en la seguridad de la circulación vehicular. Las fallas más frecuentes en los sistemas de frenado se deben a las siguientes razones:

1. Falla repentina: generalmente se produce por la pérdida de líquido.
2. Frenos Gastados: deficiencia en los fluidos para frenos.
3. Frenos bloqueados: puede durar pocos segundos, a veces la causa es la humedad en las pastillas de freno.
4. Reacción gradual al frenado: es causado por fluido para frenos viejos o por pastillas gastadas.
5. Insuficiente capacidad de frenado: se produce en especial en camiones sobrecargados.
6. Frenos desajustados.

Las ventajas de los sistemas de antibloqueo de frenos son evidentes, y su aplicación en el automóvil supone por regla general un aumento de la seguridad activa. Su trabajo sobre los frenos en momentos de fuertes desaceleraciones, especialmente sobre pisos deslizantes, supone un punto importante en la estabilidad de marcha y el control de la dirección.

2.5.1 La energía frenante

Se define de este modo a la acción y energía desarrollada por los neumáticos en la fase que va desde el momento de la colisión al de posición final de los vehículos que han colisionado, o desde que se actúa sobre los frenos, hasta el punto de colisión o hasta la posición final, según los casos. Se calcula según la fórmula:

$$E = P \times a \times D$$

Donde “P” es el peso del vehículo, “a”, es el coeficiente de adherencia de la ruta y “D”, la distancia recorrida desde el lugar de la colisión hasta el lugar de detención final, distancia que conocemos con el nombre de Desplazamiento.

Se debe tomar en cuenta que el coeficiente de adherencia de una vía se modifica con el valor de la pendiente de la misma, de tal modo que el valor de “a” debe calcularse +/- tangente, y corresponde a un valor trigonométrico relativo al ángulo de inclinación de la carretera; la expresión +/-, se utiliza siempre que la acción de la frenada se efectúe en ascenso o en descenso.

2.5.2 Relación entre la fuerza viva y la energía frenante

Los dos términos, fuerza viva y energía frenante, tienen valor equivalente, por lo que puede establecerse una conjunción de las formulas de la que resulta la siguiente:

$$F = \frac{P * V^2}{2 * g}$$

$$E = P * a * D$$

$$\frac{P_1}{2 * g} = V^2 = P_2 * a * D$$

Donde los términos empleados corresponden a:

P1: peso del vehículo que colisiona.

P2: peso del vehículo colisionado.

V: velocidad del vehículo que colisiona.

a : coeficiente de adherencia de la ruta, en el lugar.

D : distancia de desplazamiento.

G: valor de la influencia de la fuerza de gravedad (9.81 mt/seg.)

Si consideramos a demás, el supuesto de que el otro vehículo también estaba en movimiento, se producirá una velocidad resultante, siempre que se considere a ambos rodados como cuerpos no elásticos que se funden formando uno solo. Para ello, la formula puede ser la siguiente:

$$M1 \times V1 + M2 \times V2 = (M1 + M2) \times V2$$

Si, en cambio, el segundo vehículo se halla detenido, su velocidad será igual, y por lo tanto el producto de masa por la velocidad será igual a cero. En consecuencia, la formula anterior podrá escribirse:

$$M1 \times V1 + 0 = (M1 + M2) \times V2$$

La velocidad resultante (V2) esta dada por la formula general

$$V = (2 \times a \times g \times D)^{1/2}$$

2.6 Topografía del terreno

Siempre será necesario establecer las características que presenta el lugar donde ocurrió el accidente de tránsito y sus alrededores, hacia adelante y hacia atrás. Este será un dato que también será tenido en cuenta en el momento del análisis. Las anomalías topográficas, curvas, sinuosidades, etc. Aumentan el peligro potencial para los conductores.

La causa preponderante de los accidentes en curvas y pendientes es la marcha desaprensiva de los conductores con sus vehículos, por ello es necesario registrar esas características de manera exacta en el croquis. Para determinar los radios correctos de curvatura de una ruta es necesario aplicar el método de la Triangulación, partiendo de la base, que las curvas no son otra cosa que partes de un círculo. Otro accidente topográfico importante es el grado de pendiente, ascendente o descendente, que incidió sobre la fuerza de desplazamiento de un determinado rodado, el cual también es determinable.

Para determinar el grado de pendiente de un tramo carretero de una forma práctica se puede aplicar el siguiente procedimiento para el cual se debe contar con un nivel de albañil, al cual se le tomara la longitud previamente, se le coloca luego sobre el pavimento, cuidando que se encuentre con su dirección longitudinal paralela a la pendiente. Se levanta la punta inferior hasta lograr que la burbuja se nivele, posteriormente, se mide la distancia entre la superficie del terreno y la base del nivel (del lado levantado). El resultado deberá dividirse por la longitud del nivel. Por ejemplo, si el nivel tiene un metro de longitud, y el extremo se halla a 4 centímetros, la pendiente será de 4/100, o sea 0.04%.

El estado en que se encuentra el piso de la ruta, juega un papel trascendente para el comportamiento de los neumáticos, por lo tanto, sus características y la presencia de elementos extraños debe de ser tomada en cuenta, ya que pueden hacer variar considerablemente la adherencia de aquellos.

Al respecto, se puede establecer la siguiente clasificación.

- Nieve y lluvia: en este caso los problemas que se plantean se deben a la presencia de un elemento extraño en la superficie, que le da a esta un carácter deslizante. El coeficiente de adherencia del neumático deberá variar totalmente.
- Asfalto: el coeficiente de adherencia del neumático deberá adecuarse a las características que presente el tipo de asfalto; nuevo, usado, liso, alquitranado etc.
- Cemento: al igual que en el caso anterior, variará el coeficiente de adherencia vehicular si el piso de cemento es, nuevo, usado, pulido o liso.
- Adoquinado o empedrado: también será diferente el coeficiente de adherencia vehicular si los adoquines o empedrado son nuevos, usados, pulidos o lisos.
- Grava o ripio: del mismo modo que en los casos anteriores, el coeficiente de adherencia vehicular deberá cambiar según si la grava o ripio es suelto o compactado.
- Tierra o arena: el coeficiente de adherencia vehicular variará si el piso de tierra o arena es semi-compactado, suelto, o con una capa de polvo depositada en la superficie.

A todas estas posibilidades se le debe de agregar el estado de las calles, rutas o caminos según la situación climática: pueden estar secos, húmedos o con agua. La falta de atención en la conducción sobre la ruta, se traduce en un aumento de la peligrosidad en la circulación, especialmente si la topografía del lugar esta afectada por curvas y otros accidentes topográficos.

2.7 Factores climáticos

En un accidente importa conocer cuál era la situación climática imperante al momento de la colisión, pues a través de ella se tendrá un elemento importante de la colisión. La reducción de la visibilidad es de trascendencia en la Accidentología Vial, su determinación exacta es fundamental, ya que este factor contribuye grandemente a que se produzca un accidente, en especial cuando llueve, hay oscuridad extrema, variaciones en las condiciones de transitabilidad (pasos vehiculares en túneles prolongados) o en aquellos casos en que las rutas enfrentan la salida o puesta del sol.

Al aspecto climático del momento se le debe adicionar el análisis de la problemática mecánica y consignarlo adecuadamente en el informe que se rinde; por ejemplo, si estaba lloviendo con mediana intensidad y el vehículo causante del choque circulaba con el limpiaparabrisas descompuesto o no barría adecuadamente el agua del vidrio.

Puede suceder también que el parabrisas esté empañado porque el vehículo circulaba con las ventanillas cerradas y al no funcionar el desempañador causar accidentes. La reducción de la visibilidad como consecuencia de las condiciones atmosféricas disminuye, a su vez, la distancia de percepción de los objetos, es probable que el conductor recién los perciba cuando el accidente ya es inminente, en especial si circula a excesiva velocidad. Las condiciones atmosféricas también dificultan la visibilidad de las señales de tránsito, no así la de los semáforos debido a las características de sus luces. Existe otro factor que puede acarrear accidentes:

El Deslumbramiento, este puede ser provocado por faros y retroreflexión, durante el crepúsculo o por ralos solares. Factores de este tipo son difíciles de mensurar convenientemente, porque por lo general han desaparecido cuando llega el Experto en Accidentología Vial. La niebla y el humo son de características parecidas a la oscuridad, pero en la gran mayoría de los accidentes en los cuales intervienen estos fenómenos, la causa principal es el exceso de velocidad.

2.8 Los neumáticos y el pavimento

Constituyen un factor preponderante en los accidentes, debido a que son los elementos que toman contacto directo entre sí y proporcionan la fuerza de fricción al vehículo. El neumático fue ideado con el propósito de proporcionar mayor confort a los rodados; inicialmente se fabricaban con ruedas rígidas y, más tarde, provistas de una envoltura de goma. En los últimos años, las grandes velocidades que pueden alcanzar los rodados hicieron que los neumáticos sufrieran una progresión técnica considerable.

Las siguientes son las partes en las que se divide un neumático:

1. Cubierta: es la parte más resistente del neumático y está formada por la carcasa, la banda de rodadura, los talones y los flancos.
2. Carcasa: es la que debe soportar la tensión de inflado y los esfuerzos exteriores del neumático. Su exterior está cubierto de goma y, embutidas, se hallan las capas de tejido, cuyo número, así como la disposición y la resistencia, dependerá de la clase de cubierta y del fin a que se haya destinado la misma.
3. Banda de Rodadura: es la zona que contacta con el suelo. Esta aporta al neumático parte de su configuración: adherencia, tracción, resistencia al desgaste.
4. Talones: permiten que la cubierta se adapte a la llanta metálica.
5. Flancos: están situados entre la banda de rodadura y los talones, y son los encargados de absorber todo tipo de flexiones, tanto verticales como laterales. De su mayor o menor rigidez dependerá el grado de confort.

El neumático debe conseguir en todo momento una óptima adherencia, para lo cual es necesario que el suelo esté seco y en buen estado; si está húmedo o mojado, la adherencia del neumático liso disminuye hasta ser casi nula, pues el agua actúa como lubricante del caucho. El dibujo de la banda de rodadura es el que permite romper la película de agua que se forma y obtener así la debida adherencia. La adhesión y la histéresis son los componentes de rozamiento, el cual se mide por un factor denominado **coeficiente de Rozamiento**, que indica el grado en que dos cuerpos rozan entre ellas. Cuanto más grande es la cifra, mayor es la adherencia existente, teniendo en cuenta, que dicho coeficiente siempre es relativo a dos superficies entre sí.

Respecto al coeficiente de adherencia, cuando giran las ruedas de un vehículo sobre la superficie de la carretera, se produce un rozamiento que se vence por la fuerza del motor. La existencia de este rozamiento, es indispensable para el movimiento de los vehículos, puesto que, si existiera un lubricante que eliminara la fricción, el vehículo no podría trasladarse y, estando en movimiento, no podría ser controlado. El rozamiento influye de dos maneras: en primer término, longitudinalmente, favoreciendo el movimiento hacia delante, en segundo término, transversalmente, evitando que los neumáticos resbalen hacia los laterales.

En este rozamiento intervienen dos elementos: la superficie de la ruta y la banda de rodadura de los neumáticos. La superficie de la calzada es esencial, puesto que sirve de apoyo y sostén a todos los vehículos que sobre ella circulan.

El material de dicha superficie y los relieves que esta presenta forman el elemento básico, pero, a su vez, influye de manera extraordinaria el estado de esta superficie, tanto por el uso, que reduce los relieves primitivos, como por la presencia de elementos extraños procedentes de fenómenos atmosféricos, tales como, lluvia, nieve o hielo, o incorporados accidentalmente, como aceite, pasto, hojas secas, etc.

El aporte de las carreteras al rozamiento se llama “Coeficiente de Fricción”, y se mide con un aparato llamado Tritómetro. Para obtener el coeficiente de fricción hay que conocer la fuerza necesaria para vencer el rozamiento (F) y la presión (P) normal que el cuerpo rodante ejerce sobre la calzada; así resulta:

$$CF = \frac{F}{D}$$

Otra formula que permite determinar el coeficiente de fricción es la siguiente:

$$CF = \frac{0.004114V^3}{D}$$

Donde “V”, es la velocidad del vehículo en kilómetros por hora y “D” la longitud de la patinadura provocada por la frenada.

Respecto del aporte del neumático al rozamiento influyen también otras causas, como el grado de inflado o presión y la velocidad.

La adherencia del neumático, esta en relación inversa con el volumen de aire en su interior: cuanto mayor presión, menos superficie de contacto y, por lo tanto, menor adherencia, y viceversa. Naturalmente, todo conductor debe llevar siempre sus neumáticos con la presión que aconsejan los fabricantes de vehículos, pero en ocasiones, como cuando se debe circular sobre nieve, muchos profesionales disminuyen un poco esta presión para aumentar la superficie de contacto y, con ella, la adherencia. La velocidad también actúa en sentido inverso, ya que a mayor velocidad menor adherencia. Existen otros elementos que pueden influir en una mayor adherencia; por ejemplo, la suspensión independiente, puesto que ésta facilita una mejor distribución del peso del vehículo sobre todas y cada una de las ruedas, con lo cual se mejora la superficie de contacto. Es lógico que cuando se emplean elementos especiales para un determinado tipo de superficie de ruta, como neumáticos de nieve, cadenas, etc., se mejoran las condiciones de adherencia.

Ya hemos visto que el rozamiento se representa eficazmente por el coeficiente de adherencia que no es otra cosa que la fricción existente en un momento determinado entre una carretera y un neumático. En el influyen:

- El tipo de superficie de la carretera.
- El estado de la calzada; a mayor uso, más pulida esta la superficie, y por lo tanto, existe menos adherencia.
- Las condiciones meteorológicas, de manera general, la superficie mojada ofrece menor adherencia, ya que el agua forma una capa entre la banda de rodadura y la carretera. Hay casos, como las calzadas de carbonilla y de balastro, en que la humedad no altera este coeficiente.

- El estado de la banda de rodamiento de los neumáticos: a mayor relieve, mayor adherencia.
- La velocidad del vehículo.

De acuerdo con estos datos, la siguiente tabla revela los coeficientes de adherencia para los distintos tipos de pavimentos, el estado de la superficie de la calzada y de los neumáticos y la velocidad del vehículo. Estos valores son aproximados, pero resultan suficientes para los cálculos que posteriormente se harán.

Tabla

Coeficientes De Adherencia:

TIPO DE PAVIMENTO SECO
MOJADO

-50 KMH + 50 KMH -50

	Nuevos	Usados	Nuevos	Usados	Nuevos	Usados	Nuevos	Usados
Neumáticos								
Cemento								
Nuevo	1.00	0.80	0.83	0.75	0.82	0.48	0.73	0.42
Usado	0.83	0.62	0.73	0.58	0.72	0.43	0.63	0.38
Pulido	0.73	0.52	0.63	0.48	0.63	0.43	0.62	0.39
Asfalto								
Nuevo	1.00	0.80	0.73	0.63	0.72	0.63	0.73	0.42
Usado	0.83	0.58	0.73	0.53	0.72	0.53	0.63	0.38
Pulido	0.78	0.52	0.63	0.43	0.68	0.43	0.62	0.39
Exceso de Alquitran	0.62	0.48	0.62	0.28	0.53	0.28	0.52	0.25
Adoquines								
Nuevo	1.00	0.72	0.93	0.68	0.92	0.63	0.88	0.68
Usado	0.83	0.58	0.83	0.48	0.72	0.39	0.82	0.58
Pulido	0.72	0.48	0.68	0.43	0.53	0.28	0.67	0.42
Pedregullo								
Compacto	0.88	0.53	0.83	0.48	0.82	0.38	0.63	0.38
Suelto	0.73	0.38	0.73	0.38	0.77	0.38	0.78	0.38
Carbonilla								
Compacto	0.78	0.48	0.78	0.48	0.77	0.63	0.78	0.63
Balasto								
Normal	0.78	0.53	0.78	0.53	0.77	0.73	0.78	0.53
Hielo								
Liso	0.28	0.08	0.23	0.06	0.12	0.03	0.08	0.03
Nieve								
Compacto	0.58	0.28	0.58	0.33	0.63	0.28	0.63	0.28
Suelta	0.28	0.08	0.22	0.08	0.62	0.28	0.62	0.28

Fuente: Manual de Criminología, Raúl Enrique Zajackowski, Buenos Aires, Argentina, 1998.

KMH + 50 KMH

2.9 Tiempo de reacción del conductor

Cuando un vehículo circula por una ruta, cualquiera que sea su velocidad, y el conductor se encuentra de improviso con un obstáculo que le impide el paso de manera normal, el lapso que mediara hasta la reacción del individuo, será directamente proporcional a sus reflejos y a la atención que prestaba a su actividad en ese momento.

El Tiempo de Reacción es el intervalo entre un estímulo sensorial y el correspondiente accionar o reacción voluntaria, que puede ser más o menos automática y varía de acuerdo a la reacción de cada uno de los sentidos. Esta reacción puede ser simple o de elección.

Se denomina *reacción simple*, por ejemplo, a la decisión que toma el conductor ante la presencia de una curva o cruce de calles y levantar el pie del acelerador y presionar el pedal de los frenos.

En personas normales, el tiempo de reacción varía entre 1 y 4 décimas de segundo, es decir, que cuando un conductor ve un obstáculo, debe optar por la maniobra a realizar y actuar debidamente.

Los tiempos promedio para cada sentido son los siguientes:

Sentido del Oído: 0.30 segundos

Sentido de la Vista: 0.4 segundos

Sentido Kinésico: 0.5 Segundos

Según estudios realizados, el tiempo para realiza la elección y actuar transcurre del modo siguiente:

	Vista	Oído
Percepción del Estimulo	0.12	0.10
Decisión a Adoptar	0.14	0.10
Acción Acordada	0.14	0.10
Soltar el Acelerador	0.22	0.22
Accionar los Freno	<u>0.45</u>	<u>0.45</u>
Total:	1.07 seg.	0.97 seg.

Por lo tanto, para distintas velocidades los lapsos que van desde la percepción del estímulo, hasta el momento de la acción serán diferentes. En la tabla que sigue se discrimina el tiempo transcurrido en el momento de la acción según la velocidad.

Tabla XI. Tiempos de reacción del conductor en función de la velocidad

Velocidad (Km/h) Transcurrido(Segundos)	Tiempo
10	2.77
20	5.55
30	8.33
40	11.11
50	13.88
60	16.66
70	19.44
75	20.83
80	22.22
85	23.61
90	25.00
100	27.27
110	30.55
120	33.33
130	36.11
140	38.88
150	41.66

Fuente: Manual de Criminalística, Raúl Enrique Zajaczkowski, Buenos Aires, Argentina, 1998.

Con esta tabla obtenemos el denominado Tiempo de Reacción y el Tiempo Técnico para el Blocaje de Ruedas en el Sistema de Frenos, según claro esta, la eficiencia de estos. Este Tiempo Técnico de Blocaje de Ruedas, es descrito claramente por los especialistas como un factor que tiene una gran importancia en la eficacia del frenado del vehículo, ya que determina la acción ante una eventual colisión.

2.10 Determinación de la velocidad:

En un accidente de tránsito, uno de los interrogantes que más frecuentemente se plantean, es la determinación de la velocidad a la cual circulan los vehículos que intervinieron en un hecho de tránsito antes de la colisión. Esta determinación está limitada o influida por diversos factores que no siempre se evalúan, o son difíciles de medir, como se verá más adelante.

La velocidad a la que circulaban los rodados, solo se podrá obtener, a través de la formulación de hipótesis sobre la base de fórmulas físicas conocidas, en las cuales tendrán en consideración cada uno de los factores variables. Por lo general, estos factores son muy difíciles de conocer o de establecer con exactitud; es por ello que solo es posible efectuar la determinación de la velocidad en valores aproximados.

Algunos de los factores que varían son los siguientes:

- Atención que tenía el conductor en el momento de circular sobre la vía
- Estado físico y psíquico en ese momento
- Tiempo de reacción que le demanda

- Tiempo técnico de acción total del sistema de frenos
- Coeficiente de Adherencia, obtenido a través del estado de los neumáticos, del piso y del clima
- Eficiencia del sistema de frenos
- Hora del día
- Inclinação de la ruta y Topografía longitudinal
- Tipo de colisión

Para la determinación de la velocidad, se utilizan las siguientes formulas físicas que son aplicables a estos casos. El primer paso será, determinar el denominado Coeficiente o Factor de Adherencia. Esto se puede hacer compruebas de deslizamiento en un tramo llano del pavimento, asfalto, etc. . Este ensayo nos dirá a que distancia patinará un automóvil partiendo de una velocidad conocida. En este caso el Coeficiente de Adherencia o coeficiente de Fricción, “F”, puede ser determinado usando la siguiente formula:

$$F = 0.00393x \frac{V^2}{d}$$

Para determinar la Distancia de Deslizamiento, sobre la base de los datos conocidos de la velocidad, se aplicara la siguiente formula:

$$d = 0.00394 \frac{V^2}{(F + /- f) Km / h}$$

donde “d” corresponde a la Distancia de Deslizamiento buscada; 0.00394 es una constante a aplicar; “V²” es la velocidad conocida del vehículo en cuestión; “F” es el factor de adherencia; y “f” es la distancia de frenada. La determinación de la velocidad critica en una curva se hace sobre la base de la formula siguiente

$$V = 15.9 \sqrt{(F + /- f) \frac{R}{2}}$$

En esta formula, a los datos anteriores se adiciona “R”, que es el radio de curvatura de la curva y 15.9, que es una constante. La energía absorbida al mover el otro vehículo es relativamente simple de calcular cuando el vehículo no se mueve rodando sobre sus llantas si no de lado o con las ruedas frenadas totalmente. La formula es:

$$E_a = a * P * d$$

donde “a” es el *Coefficiente de Adherencia* obtenida a través de la formula conocida, o sobre la base del Cuadro 2, descrito antes; “P”, es el peso del vehículo desplazado, y “d” es la distancia de desplazamiento. Cuando se trata de una colisión frontal central, es posible llegar a la determinación sobre la base de la formula siguiente:

$$V = \frac{(M_1 + M_2) * V_3 + M_2 * V_2}{M_1}$$

donde “M₁” y “M₂” son las masas de los vehículos intervinientes y “V₃” es la velocidad vehicular, que se obtiene a través de la formula siguiente:

$$V_3 = \sqrt{2axgxD}$$

donde “a” es el coeficiente de adherencia de la ruta; “g” es el valor de la gravedad (9.81mt/seg); y “D” es la distancia de desplazamiento. Esta formula se utiliza para determinar la velocidad de ambos vehículos después de la colisión.

Cando se trate de una colisión perpendicular, es posible utilizar la formula siguiente:

$$V_1 = \frac{(M_1 + M_2) \times V_3}{M_1}$$

donde “ M_1 ” y “ M_2 ” son las masas de los vehículos intervinientes y “ V_3 ” es la velocidad vehicular posterior al accidente, cuya formula ya se describió. Si se trata de una colisión entre un vehículo y un peatón, debe utilizarse la siguiente formula:

$$V = \sqrt{254.5axFx D}$$

donde 254.5 es una constante; “a” es el coeficiente de adherencia para el lugar; “F” es la distancia de frenado, si existió, y “D” es la distancia de desplazamiento longitudinal del vehículo posterior al accidente.

Para el caso de una colisión perpendicular excéntrica, la determinación de la velocidad de un vehículo que ha participado en un suceso de estas características es mas difícil, debido a la cantidad de fuerzas y factores que incide en ella. Para poder establecerla es necesario aplicar la ecuación siguiente:

$$V = \frac{(M_1 * g * a * D_1) + (M_2 * g * a * D_2)}{\frac{2(M_1 + M_2)}{(3.333)^2}}$$

Todos los elementos de esta formula ya fueron mencionados, excepto 3.333 que es una constante. Para la determinación de la velocidad

de una colisión paralela central con un vehículo que frena se aplicará la formula siguiente:

$$V = 2 * g * a * D * f * V_3 * F_1$$

donde a los componentes se añade “f”, que es el coeficiente de eficacia del sistema de frenos del vehículo.

3. CONDICIONES GEOMÉTRICAS DE LAS VIAS

3.1 Factores que condicionan el diseño geométrico de una vía

Consideraciones generales

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 diseño de una ruta. 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 interferencia de peatones, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y factores climáticos que afectan la visibilidad, disminuyendo la velocidad, 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.

La velocidad de diseño en una carretera, es uno de los factores que guarda directa relación de dependencia entre las características físicas de una vía, al igual que el conductor, su vehículo y las condiciones climáticas en su entorno, la presencia o interferencia de otros vehículos en la corriente del tránsito.

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

3.2 Velocidad de proyecto

La velocidad en una carretera guarda directa relación de dependencia de cuatro factores, distintos a los que particularizan al conductor y su vehículo, que son las características físicas de dicha carretera, las condiciones climáticas en su entorno, la presencia o interferencia de otros vehículos en la corriente del tránsito y los límites vigentes de velocidad, sean estos de carácter legal o relacionados con el empleo de los dispositivos usuales para el control del flujo vehicular.

Para el conductor, la velocidad es uno de los elementos críticos a considerar en la selección de la ruta a transitar o la escogencia de un determinado modo de transporte, ponderándose su importancia en

términos de tiempos de recorrido, de costos de viaje, de la combinación de los dos factores anteriores y de la conveniencia de los usuarios. La mayoría de las corrientes de tránsito, registran en su comportamiento variaciones de velocidades que se ubican dentro de una distribución estadística normal, esto es, que la mayoría de los valores ocurren dentro de un rango central, con muy pocos valores ubicados en los rangos extremos de arriba y de abajo de la distribución.

El diseño, en todo caso, busca satisfacer razonablemente los requerimientos de los usuarios en lo relativo a velocidades, bajo condiciones de seguridad y economía en las operaciones, sin dejarse llevar por incómodos extremos, como sucedería si se pretendiera atender al reducido número de usuarios que reclaman mayores velocidades de lo que se juzga razonable. En la práctica vial se hace referencia usualmente a tres tipos de velocidades, la de operación, la de diseño y la de ruedo.

3.2.1 Velocidad de operación

La velocidad de operación, es la máxima velocidad a la cual un conductor puede viajar por una carretera dada, bajo condiciones climáticas favorables y las condiciones prevalecientes del tránsito, sin que en ningún momento se excedan los límites de seguridad que determina la velocidad de diseño, sección por sección, de dicha carretera.

3.2.2 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño, también conocida como velocidad directriz, es la máxima velocidad que, en condiciones de seguridad, puede ser

mantenida en una determinada sección de una carretera, cuando las condiciones son tan favorables como para hacer prevalecer las características del diseño utilizado.

En principio, las carreteras deben diseñarse para las mayores velocidades que sean compatibles con los niveles deseados de seguridad vial, movilidad y eficiencia, tomando a la vez debida cuenta de las restricciones ambientales, económicas, estéticas y los impactos sociales y políticos de tales decisiones. La velocidad de diseño debe ser consistente con la velocidad que espera el conductor promedio. En una carretera secundaria con condiciones topográficas favorables, por ejemplo, donde los conductores operan a velocidades relativamente altas, dada su percepción de las condiciones físicas y operativas de la vía, es impropio aplicar una baja velocidad de diseño por los riesgos que acarrearía en materia de seguridad.

Para la AASHTO, una velocidad de diseño de 110 kilómetros por hora en autopistas, vías expresas y otras carreteras troncales, resulta apropiada para aplicar en la categoría superior de los sistemas de carreteras. Se admite que en las categorías inferiores de la clasificación vial, con la debida consideración de las condiciones topográficas del terreno, se reduzcan en forma gradual las velocidades recomendadas para diseño, hasta límites prácticos y razonables. En las arterias urbanas reguladas por los conocidos dispositivos de control del tránsito, se acepta que las velocidades de ruedo sean limitadas a 30 y en determinadas circunstancias hasta 25 kilómetros por hora, con lo que las menores velocidades de diseño pueden ubicarse en los 40 kilómetros por hora.

La velocidad de diseño determina aquellos componentes de una carretera como curvatura, sobreelevación y distancias de visibilidad, de los

que depende la operación segura de los vehículos. Aunque otros elementos del diseño, como decir el ancho de la calzada, los hombros y las distancias a que deben estar los muros y las restricciones laterales a la vía, no dependen directamente de la velocidad de diseño, se asume que a mayores velocidades de diseño tales elementos deben ser mejorados dentro de límites prácticos y compatibles con las mejoras que insinúa el cambio. En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera particular, debe darse especial consideración a los siguientes aspectos:

- a.** Distribuciones de las velocidades
- b.** Tendencias de las velocidades
- c.** Tipo de área
 - Rural
 - Urbana
- d.** Condiciones del terreno
 - Plano
 - Ondulado
 - Montañoso
- e.** Volúmenes de tránsito
- f.** Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias
- g.** Condiciones ambientales

3.2.3 Velocidad de ruedo

La velocidad de ruedo, es la velocidad promedio de un vehículo en un determinado tramo de carretera, obtenida mediante la relación de la distancia recorrida a lo largo de dicho tramo con el tiempo efectivo de ruedo del vehículo, esto es, sin incluir paradas, constituye una buena medida del servicio que la carretera referida brinda al usuario. La determinación de la velocidad promedio de ruedo, donde el flujo del tránsito es relativamente continuo, puede efectuarse mediante la aplicación de conocidos procedimientos de la Ingeniería de Tránsito para la medición y cálculo de la **velocidad instantánea promedio** en un punto característico de dicho tramo.

En las carreteras de bajos volúmenes de tránsito, las velocidades promedios de ruedo se aproximan a las velocidades de diseño y llegan a representar entre 90 y 95 por ciento de éstas. A medida que los volúmenes de tránsito aumentan, aumenta igualmente la fricción entre los vehículos en la corriente vehicular y se reducen sensiblemente las velocidades de ruedo, hasta que en su mínima expresión los volúmenes alcanzan niveles de congestión que, deseablemente, deben evitarse por todos los medios disponibles en un proyecto vial, ya que estos ocasionan riesgo de accidentes.

Las velocidades de diseño se van reduciendo con la gradualidad que impone la tipología utilizada, hasta los niveles inferiores que corresponden a los caminos vecinales o locales, donde dicha velocidad se reduce hasta 40 kilómetros por hora en terreno montañoso.

Tomando en debida consideración las referencias anteriores, se ha elaborado la Tabla 12, que muestra las variaciones recomendables en las

velocidades de diseño para las carreteras de la red nacional, teniendo a la vista solamente lo que se refiere a los rangos de volúmenes de tránsito para diseño y las condiciones topográficas del terreno, sea que se trate de terreno plano, ondulado o montañoso.

Tabla XII. Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno

Volúmenes de tránsito Diario ó TPDA, en vpd.

Tipo de Terreno	>20.000	20.000-10.000	10.000-3.000	3.000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Vpd: vehículos promedio por día.

Fuente: Manual Centroamericano, Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 1999.

3.3 Volumen 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 o de una 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 del 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 Destino (O/D) que, dependiendo de la metodología utilizada, arrojarán 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.

Tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que, por el límite superior, pueden llegar a duplicar los volúmenes promedios del tránsito en algunas carreteras, razón por la cual en las estaciones permanentes de registro de volúmenes se deben medir y analizar las fluctuaciones del tránsito a lo largo de los diferentes períodos del año, sean estos semanales, mensuales o estacionales. No

obstante, se ha tomado el TPDA como un indicador numérico para diseño, tanto por constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención. Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera una vez sea mejorada o ampliada, o que se estima utilizará la carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios. En algunos tramos de las carreteras, se registran actualmente volúmenes de tránsito promedio mayores vehículos; entre las ciudades de Guatemala y Escuintla el volumen fue de 24,000 vpd en el mismo año.

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 del movimiento vehicular por carretera, mostrando en el eje de las ordenadas aquellos volúmenes registrados de mayor a menor, como porcentajes del 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 25 hasta el 38 por ciento del TPDA, 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 existan 29 horas en el año en que el volumen será excedido.

3.3.3 El factor de hora pico, FHP

El factor de hora pico o FHP, se expresa como la relación que siempre será igual o menor que la unidad, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor registrado durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. O sea que al afectar los volúmenes horarios de diseño por este factor, se están asumiendo las condiciones más exigentes de la demanda, a las cuales debe responder la propuesta de solución de reconstrucción, mejoramiento o ampliación de una carretera determinada.

La decisión de afectar o no el volumen horario de diseño por este factor, muy utilizado en los cálculos de capacidad y niveles de servicio, depende del grado en que las fluctuaciones del movimiento vehicular

durante la hora máxima, por su relevante significación, afectan las decisiones operativas y de diseño de la carretera. En muchas soluciones viales en el área rural, los analistas se limitan a examinar las condiciones promedio durante la hora pico. **En general, se considera que cuando el FHP es menor de 0.85, las condiciones operativas de la carretera variarán sustancialmente.**

3.4 Tipos de vehículo que transitan por la vía

3.4.1 La composición del tránsito

Dependiendo del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en debida cuenta que los vehículos pesados, como camiones, autobuses y vehículos recreativos tipo campers, pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular, influenciando según su relevancia porcentual, en forma más o menos determinante, el diseño geométrico de las carreteras y los espesores de los pavimentos elevando de esta forma la probabilidad de accidentes. El efecto de un camión sobre las operaciones del tránsito es a menudo equivalente al de varios automóviles, siendo mayor la relación a medida que son mayores las pendientes y menores las distancias de visibilidad disponibles.

3.4.2 Los vehículos de diseño

Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por

las carreteras regionales, 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 posibilitar y facilitar su circulación irrestricta.

La tipología de los vehículos automotores que circulan por las carreteras regionales 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; mientras que **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 lo 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.

En la tabla XII, se muestran las dimensiones típicas de estos tipos de vehículos, conforme las tablas de la AASHTO, siendo oportuno destacar que los vehículos pesados, de pasajeros o de carga, tienen ya un ancho máximo para diseño de 2.6 metros, mientras el Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras de 1958, en proceso de revisión, limita dicho ancho a 2.5 metros. Las alturas máximas también han registrado incrementos a tomar en consideración en el diseño de los túneles y

estructuras de paso a través. De 2.4 metros de altura (8 pies) según normas de la ISO, los propios contenedores han aumentados a 2.6, 2.7 y 2.9 metros (respectivamente 8.5, 9 y 9.5 pies de alto).

Tabla XIII. Dimensiones de los vehículos de diseño (metros)

	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3(1.3)	4.1	4.1(4.1)	4.1(4.1)	4.1	4.1
Ancho	2.1(2.1)	2.6	2.6(2,6)	2.6(2.6)	2.6	2.6
Longitud	5.8(5.8)	12.1	9.1(9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
Voladizo Delantero	0.9(0.9)	2.1	1.2(1.2)	0.9(0.9)	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5(1.5)	2.4	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.9	0.9
Distancia entre Ejes Extremos, WB1	3.4(3.4)	7.6	6.1(6.1)	6.1(6.1)	6.1	6.1
Distancia entre Ejes Extremos, WB2				9.1(9.2)	12.8	14.3

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.

Tabla XIV. Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño (metros)

Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.

Entre paréntesis se presentan las dimensiones de los vehículos similares de diseño que Utiliza la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México.

FIGURA 2.1

Figura 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO WB-15

Fuente: Manual Centroamericano, Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 1999.

3.5 Control de accesos

3.5.1 Criterios de selección y diseño

Conviene hacer algunas consideraciones básicas de alcance general, sobre el diseño de los accesos a las carreteras y a las propiedades aledañas a la vía. El diseño de los accesos de una carretera debe corresponder en un todo a su función, responder así a las necesidades de los vehículos automotores que se interceptan o mezclan en dicha área de encuentro.

La seguridad en los accesos, depende en gran medida de su percepción por los usuarios, de la facilidad con que la geometría y el funcionamiento de la misma es percibida desde lejos y en sus proximidades, y comprendida por automovilistas y peatones. En este sentido, resulta interesante el mantenimiento de una cierta homogeneidad en el diseño a lo largo de una carretera. Asimismo, debe tenerse en mente el propósito de que el cruce y sus aproximaciones constituyan un conjunto coherente.

Debe resaltarse el diseño y construcción de aquellos accesos que marcan secciones entre la vía y la entrada a una propiedad u otra vía, las cuales marcan el cambio entre dos tramos diferentes. Concretamente, la primera intersección de una carretera o segmento de la misma tiene una importancia decisiva para el comportamiento de los conductores en el conjunto de la instalación vial. En dicha intersección deben manifestarse las nuevas funciones de la vía, la velocidad que se pretende garantizar, su capacidad y la transición entre los dos regímenes de circulación, esto con

el fin de que la transición de una vía a otra no sea de riesgo para los usuarios.

En las intersecciones, puede ser útil el empleo de materiales especiales en la superficie de rodamiento, que sean visibles día y noche y que demarquen el espacio del cruce o acceso.

La velocidad de circulación debe reflejarse en su geometría y ser complementada por una señalización clara y concisa. Adquiere importancia decisiva en las intersecciones la información sobre destinos, por lo que un efectivo señalamiento de tipo informativo resulta imperativo para facilitar la oportuna toma de decisiones de parte de los usuarios.

Desde el punto de vista de la geometría del diseño geométrico, deben establecerse con cierta exactitud los radios de giro, en función del vehículo de diseño, y proyectarse en forma consecuente las islas y contornos del diseño del acceso.

3.6 Intensidad de tránsito

Todas las vías son diseñadas para aceptar una intensidad de tránsito, con el nivel de servicio determinado. Estos factores se determinan por medio de estudios previos que comprenden conteos para conocer las intensidades y distribuciones del tráfico que va a utilizar la vía, tomando en cuenta su situación dentro de la red vial y del uso del suelo al que sirve, además del tránsito proyectado para el periodo de diseño.

La intensidad del tránsito durante la hora pico en una carretera de dos carriles, muestra el volumen del tránsito en ambos sentidos de circulación, de ahí que resulte necesario afectarlo por un factor adicional, que refleje la desigual distribución a lo largo del día de las corrientes del tránsito en ambas direcciones, que a mayor desbálance hará mayor la necesidad de brindar la capacidad suficiente, incrementando el número de carriles necesarios. En las horas pico de la mayoría de las carreteras rurales, entre el 55 y el 70 por ciento del tránsito total se mueve en un solo sentido, por lo que **la utilización de un 60 por ciento como factor promedio de distribución direccional parece razonable**, a falta de otros elementos de juicio. En casos extremos como las carreteras a zonas turísticas, se ha llegado a alcanzar hasta un 80 por ciento del total circulando en un solo sentido.

En una carretera de carriles múltiples, es frecuente encontrar que la carga del tránsito en el sentido predominante durante la hora pico alcanza hasta 60 por ciento más vehículos que la corriente de sentido contrario, de ahí la importancia de investigar localmente estos factores al diseñar una carretera o, alternativamente, deducir por inferencia con casos semejantes de la experiencia local, los parámetros a aplicar para la situación más probable.

La relación de los accidentes viales con la intensidad de tráfico, se ha investigado poco, en estudios recientes se indica la relación que existe entre la relación de que a mayor intensidad de tráfico en una vía, mayores accidentes ocurren.

En estudios efectuados en Estados Unidos, se indica que el menor número de accidentes, se presenta para intensidades de tránsito comprendidas entre los 1000 a 2000 vehículos/hora, aumentando la

ocurrencia de los hechos de tránsito a medida que se aumentaba la intensidad de tránsito. A medida que aumenta la intensidad del tránsito disminuye la velocidad de los vehículos debido a la fricción del tráfico y en consecuencia la peligrosidad y el riesgo de accidentes fatales. Por otro lado las bajas intensidades de tráfico se presentan en las horas nocturnas y por los problemas de iluminación inadecuada, tiende a subir el número de accidentes fatales.

3.7 Distancia de visibilidad de parada

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo.

Es la distancia de visibilidad mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo. La distancia de visibilidad de parada, D , tiene dos componentes, la distancia de percepción y reacción del conductor, que está regida por el estado de alerta y la habilidad del conductor, y se identifica como d_1 , más la distancia de frenado que se denomina d_2 . La primera es la distancia recorrida por el vehículo desde el momento que el conductor percibe el peligro hasta que aplica el pedal del freno, y la segunda, es la distancia que se necesita para detener el vehículo después de la acción anterior. El tiempo de reacción para actuar el freno es el intervalo que ocurre desde el instante en que el conductor percibe la existencia de un objeto o peligro en

la carretera adelante, hasta que el conductor logra reaccionar aplicando los frenos. Los cuatro componentes de la reacción en respuesta a un estímulo exterior se conocen por sus iniciales PIEV, que corresponden a percepción, intelección, emoción y volición.

Diversos estudios sobre el comportamiento de los conductores han permitido seleccionar un tiempo de reacción de 2.5 segundos, que se considera apropiado para situaciones complejas, por lo tanto más adversas.

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, d_1 , se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

$$d_1 = 0.278 vt \quad (\text{metros})$$

Donde: v = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

t = Tiempo de percepción y reacción, que ya se indicó es de 2.5 seg.

La distancia de frenado, d_2 , se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

$$d_2 = v^2 / 254 f \quad (\text{metros})$$

v = velocidad inicial, kilómetros por hora.

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

El factor “ f ” no es único, es un valor experimental que decrece en proporción inversa a las velocidades y está sujeto a cambios tomando en cuenta la influencia de las siguientes variables:

- Diseño y espesor de la huella de la llanta, resistencia a la deformación y dureza del material de la huella
- Condiciones y tipos de superficies de rodamiento de las carreteras
- Condiciones meteorológicas
- Eficiencia de los frenos y del sistema de frenos del vehículo

La investigación y la experiencia indican que el factor debe seleccionarse para reflejar las condiciones más adversas, por lo que los valores de f están referidos a pavimento húmedo, llantas en diferentes condiciones de desgaste y diferencias en las calidades de los conductores y sus vehículos. Las velocidades promedios de ruedo, en lugar de las velocidades de diseño, son otras referencias adicionales para la escogencia de los valores apropiados para el factor “ f ”.

Para tomar en cuenta el efecto de las pendientes, hay que modificar el denominador de la fórmula anterior, de la siguiente manera:

$$D = v^2 / 254 (f \pm G)$$

G = Porcentaje de la pendiente dividida entre 100, siendo positiva la pendiente de ascenso (+) y negativa (-) la de bajada.

Las distancias de visibilidad de parada en subida tienen menor longitud que en bajada; consecuentemente, se calculan las primeras

utilizando el promedio de la velocidad de marcha ó de ruedo y las del siguiente orden utilizando la velocidad de diseño.

La distancia de visibilidad de parada no contempla situaciones al azar, que obliguen a los conductores a realizar maniobras imprevistas, por lo que en los manuales modernos de diseño se ha incorporado el concepto de **distancia de visibilidad de decisión**, que se define como aquella requerida por un conductor para detectar algo inesperado dentro del entorno de una carretera, reconocerlo y seleccionar una trayectoria y velocidad apropiadas, para maniobrar con eficiencia y seguridad. Por su concepto, estas distancias resultan sustancialmente mayores que las distancias calculadas de visibilidad de parada. Empíricamente se han establecido distancias para cubrir estas distancias divididas en las siguientes cinco situaciones particulares, que se dimensionan:

- a. Detención en carretera rural
- b. Detención en vía urbana
- c. Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera rural
- d. Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera suburbana
- e. Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en vía urbana

FIGURA 4.6

FIGURA 8. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Se ha preparado los siguientes cuadros que contienen las distancias de visibilidad de parada en terreno plano y en pendiente y de decisión, producto de la aplicación de las fórmulas mencionadas anteriormente. Están comprendidos en este cuadro los parámetros y resultados aplicables para diseño del alineamiento horizontal y vertical, relacionados con la distancia de visibilidad de parada.

Tabla XV. Distancia de visibilidad de parada y de decisión

a) En terreno plano.

Velocidad de Diseño	Velocidad de Marcha	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción	Distancia de Frenado (m)	Distancia de Parada (m)
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.40	8.8-8.8	30-30
40	40-40	2.5	27.8-27.8	0.38	16.6-16.6	45-45
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.35	24.8-28.1	57-63
60	55-60	2.5	38.4-41.7	0.33	36.1-42.9	74-85
70	67-70	2.5	43.8-48.6	0.31	50.4-62.2	94-111
80	70-80	2.5	48.6-55.6	0.30	64.2-83.9	113-139
90	77-90	2.5	53.5-62.4	0.30	77.7-106.2	131-169
100	85-100	2.5	59.0-69.4	0.29	98.0-135.6	157-205
110	91-110	2.5	63.2-76.4	0.28	116.3-170	180-246

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.*

b) En pendiente de bajada y subida

Velocidad de Diseño	Distancia de parada en bajadas (m)			Distancia parada en subidas (m)		
	Km/h	3%	6%	9%	3%	6%
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1
90	180.6	195.4	214.4	124.2	108.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.*

c) Distancia de decisión de parada para evitar maniobra

Velocidad de Diseño	Distancia de decisión para evitar la maniobra (m)				
	Km/h	a	b	c	d
50	75	160	145	160	200
60	95	205	175	205	235
70	125	250	200	240	275
80	155	300	230	275	315
90	185	360	275	320	360
100	225	415	315	365	405
110	265	455	335	390	435

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.*

3.8 Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento

La distancia de visibilidad de adelantamiento, se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento. El conductor puede retornar a su carril si percibe, por la proximidad del vehículo opuesto, que no alcanza a realizar la maniobra completa de adelantamiento.

Se hacen los siguientes supuestos simplificadorios para los propósitos del dimensionamiento de dicha distancia de visibilidad de adelantamiento:

- El vehículo que es rebasado viaja a una velocidad uniforme.
- El vehículo que rebasa viaja a esta velocidad uniforme, mientras espera una oportunidad para rebasar.
- Se toma en cuenta el tiempo de percepción y reacción del conductor que realiza las maniobras de adelantamiento.
- Cuando el conductor esta rebasando, acelera hasta alcanzar un promedio de velocidad de 15 kilómetros por hora más rápido que el otro vehículo que está siendo rebasado.
- Debe existir una distancia de seguridad entre el vehículo que se aproxima en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de adelantamiento.
- El vehículo que viaja en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de rebase van a la misma velocidad promedio.

- Solamente un vehículo es rebasado en cada maniobra.
- La velocidad del vehículo que es rebasado es la velocidad de marcha promedio a la capacidad de diseño de la vía.
- Esta distancia de visibilidad para adelantamiento, se diseña para carreteras de dos carriles de circulación, ya que esta situación no se presenta en carreteras divididas y no divididas de carriles múltiples.
- La distancia de visibilidad de adelantamiento ó rebase es la sumatoria de las cuatro distancias separadas que se muestran en la figura cinco, que ilustra las etapas de la maniobra de adelantamiento.

$$d_1 = 0.278 t_1 (v - m + a t_1)$$

- La distancia preliminar de demora (d_1) se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d_1 = 0.278 t_1 \left(v - m + \frac{a t_1}{2} \right)$$

donde,

v = velocidad promedio del vehículo que rebasa, kilómetros por hora.

t_1 = Tiempo de maniobra inicial, segundos.

a = Aceleración promedio del vehículo que efectúa el rebase, en kilómetros por hora por segundo durante el inicio de la maniobra.

m = Diferencia de velocidad entre el vehículo que es rebasado y el que rebasa, kilómetros por hora.

- Distancia de adelantamiento (d_2) expresado por :

$$d_2 = 0.278 v t_2$$

donde,

v = velocidad promedio del vehículo que ejecuta el adelantamiento, kilómetros por hora.

t_2 = Tiempo de ocupación del carril opuesto, segundos.

- Distancia de seguridad (d_3). La experiencia ha demostrado que valores entre 35 y 90 m. son aceptables para esta distancia.

Distancia recorrida por el vehículo que viene en el carril contrario (d_4). Es práctica corriente fijar esta distancia en dos tercios ($2/3$) de la distancia d_2 . Utilizando el procedimiento descrito se han calculado las distancias de visibilidad de adelantamiento para velocidades de diseño comprendidas desde 30 hasta 100 kilómetros por hora, con aumentos graduales de 10 kilómetros por hora.

Sorprendentemente, las extensas investigaciones de campo realizadas, durante los años 1938-1941, para medir el comportamiento de los conductores durante las maniobras de adelantamiento, no han sido desvirtuadas por estudios realizados en 1957, 1971 y 1978, y aunque ofrecen cifras conservadoras para los vehículos modernos, se continúan utilizando para disponer de un margen apropiado de seguridad en el diseño.

FIGURA 4.7

**FIGURA 9. ETAPAS PARA LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO
EN CARRETERAS DE DOS CARRILES**

Diseño Geométrico de Carreteras

3.8.1 Distancias mínimas de adelantamiento

Las distancias que se muestran a continuación han sido fijadas tomando en cuenta que se adelanta un solo vehículo; considerando que en la realidad suceden casos de rebase de dos o más vehículos simultáneamente, esta situación debe de tomarse en cuenta en la práctica, cuando las condiciones topográficas y de tránsito lo permitan. También debe darse atención al comportamiento de los vehículos en marcha por carreteras con pendiente longitudinal, ya que tienen comportamientos disímiles según se trate de pendientes en subidas o en bajadas, situación que altera las condiciones básicas y podría crear ambientes de peligrosidad en el desplazamiento de los vehículos.

Tabla XVI. Distancia de visibilidad de adelantamiento

A. Distancias mínimas de diseño para carreteras rurales de dos carriles, en metros.

Velocidad de Diseño (m)	Velocidades Km/h		Distancias Mínimas de Adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebasa	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.*

B. Parámetros básicos.

Velocidad promedio de adelantamiento (km/h)	50 – 65	66 – 80	81 – 95	96 –110
	56.2	70.0	84.5	99.8
Maniobra Inicial	2.25	2.30	2.37	2.41
A= aceleración promedio (km/h/s)				
t l = tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
d1= distancia recorrida (m)	45	65	90	110
Ocupación carril izquierdo:				
t2 = tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
d2 = distancia recorrida (m)	145	195	250	315
Longitud Libre	30	55	75	90
d3 = distancia recorrida (m)				
Vehículo que se aproxima:	95	130	165	210
d4 = distancia recorrida (m)				
Distancia Total: d1 + d2 +d3 +d4,(m)	315	445	580	725

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.*

4. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS HORIZONTALES DE UNA VÍA

4.1 Radio y peralte de las curvas circulares

4.1.1 Curvatura horizontal y sobreelevación

En el diseño de curvas horizontales se deben considerar dos casos:

1. Tangente seguida por curva horizontal

En esta situación, las fuerzas centrífugas actúan en contra de la operación segura de los vehículos cuando entran y circulan por la curva.

2. Alineamiento compuesto de tangente y curva horizontal y vertical

Gobiernan el diseño factores como el efecto de las fuerzas centrípetas y centrífugas, el movimiento lento de los vehículos pesados cuando ascienden las pendientes y las altas velocidades cuando bajan. Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, la tasa de sobreelevación máxima o peralte máximo, los factores de fricción y las longitudes de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva.

La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$e + f = V^2 / 127$$

donde:

e = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por

la masa perpendicular al pavimento.

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

R = Radio de curva, en metros

Los radios mínimos, son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua o arena sobre la superficie de rodamiento. El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de sobreelevación o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.) con la superficie de rodamiento de la carretera.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación o peralte (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula, que es la siguiente:

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)}$$

donde:

R = Radio mínimo de curva, en metros

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

El grado de curva o de curvatura (D) es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio R por un arco de 100 pies ó de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de D:

$$D_{20} = 1145.92 / R$$

Utilizando los valores recomendados para el factor de fricción (f) y la tasa de superelevación ó peralte, se ha preparado el Cuadro 17, donde se presentan los radios mínimos y grados máximos de curvatura para diferentes velocidades de diseño, aplicando la fórmula para D₂₀.

Tabla XVII

Radios Mínimos y Grados Máximos de Curvas Horizontales para distintas Velocidades de Diseño

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte Máximo 4%				Peralte Máximo 6%	
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	23°44'	30.8	30	
40	0.17	60.0	60	19°06'	54.8	55	
50	0.16	98.4	100	11°28'	89.5	90	
60	0.15	149.2	150	7°24'	135.0	135	
70	0.14	214.3	215	5°20'	192.9	195	
80	0.14	280.0	280	4°05'	252.0	250	
90	0.13	375.2	375	3°04'	335.7	335	
100	0.12	491.2	490	2°20'	437.4	435	
110	0.11	635.2	635	1°48'	560.4	560	
120	0.09	872.2	970	1°19'	755.9	775	

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.

Radio Mínimos y Grados Máximos de Curvas Horizontales para distintas Velocidades de Diseño

Velocidad de Diseño (Km/ h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte Máximo 8%			Peralte Máximo 10 %		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado	Curva	Calculado	Recomendado	Curva
30	0.17	28.3	30	38°12'	26.2	25	45°50'
40	0.17	50.4	50	22°55'	46.7	45	25°28'
50	0.16	82.0	80	14°19'	75.7	75	15°17'
60	0.15	123.2	120	9°33'	113.4	115	9°58'
70	0.14	175.4	175	6°33'	160.8	160	7°10'
80	0.14	229.1	230	4°59'	210.0	210	5°27'
90	0.13	303.7	305	3°46'	277.3	275	4°10'
100	0.12	393.7	395	2°45'	357.9	360	3°11'
110	0.11	501.5	500	2°17'	453.7	544	2°31'
120	0.09	667.0	665	1°43'	596.8	595	1°56'

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.

FIGURA 4.11

**FIGURA 10. COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR Y
ESPIRALES**

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.

Figura 11 Diagrama de Transición Espiral del Peralte

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.

4.1.2 Sobreanchos en curvas

Los sobreanchos, se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica.

Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación.

En las carreteras modernas con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía.

Para establecer el sobreancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

a) En curvas circulares sin transición, el sobreancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.

b) Cuando existen curvas de transición, el sobreancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada.

En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada.

FIGURA 12. TRANSICIÓN SIMPLE DE PERALTE Y SOBREALCHO

FIG

FIGURA 13. TRANSICIÓN SIMPLE DE PERALTE Y SOBREALCHO

4.1.3 Longitud mínima de curvas horizontales:

Obstrucciones a la visibilidad, localizadas en el interior de las curvas horizontales, tales como edificaciones, muros, árboles o bosques, barreras longitudinales, taludes en cortes y otros similares, son potencialmente factores que determinan la incidencia de los accidentes de tránsito, estos deben ser tomados en cuenta para aplicarles el tratamiento de despeje que acompaña a un buen diseño.

Los controles que se utilizan para un diseño apropiado son la distancia de visibilidad y la velocidad de diseño, elementos que deben ser bien estudiados y revisados para conciliarlos con las condiciones del sitio, ya sea para recomendar cambios de alineamientos o remoción de obstrucciones, según la solución que califique de ser más factible.

La línea de vista es la cuerda de la curva y la distancia de visibilidad de parada, se mide a lo largo de la línea central del carril interior de la referida curva. Se requiere que la ordenada media desde el centro de la curva hasta la obstrucción, no obstaculice la visibilidad de parada requerida en sus valores alto y bajo, para satisfacer las necesidades del conductor y que este tenga el tiempo suficiente para reaccionar adecuadamente ante alguna emergencia.

Existen varias expresiones matemáticas para calcular la distancia de visibilidad necesaria para disponer de una visión segura a lo largo de curvas horizontales. Una de ellas es la siguiente:

$$(S/2)^2 = (2R-d)d$$

Donde:

R= Radio de curva, metros.

d= Distancia entre la línea central del carril interior de la curva y la obstrucción limitante de visibilidad, metros (ordenada media).

S= Distancia de visibilidad de parada medida a lo largo de la curva, metros.

Debido a que “d” es de pequeña magnitud por comparación con el radio de curvatura, la distancia de visibilidad “S” se transforma en $(8Rd)^{1/2}$. Esta expresión se utiliza cuando “S” es menor que la longitud de curva, pero cuando “S” es mayor se aplica la siguiente expresión:

$$d = (2S - L) / 8R$$

Donde:

L= Longitud de curva (m)

S, d y R fueron definidos con anterioridad.

Para realizar cálculos de estos elementos de diseño, la AASHTO recomienda como más práctica la siguiente fórmula, cuyos componentes tienen los mismos significados que los mencionados con anterioridad y es de muy simple aplicación.

$$D = R (1 - \cos 28.65 S/R)$$

4.1.4 Curvas horizontales de transición

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta ó tangente de una carretera a una determinada curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera y en ocasiones invadiendo el carril vecino, una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrífuga que es propia de la circulación por dicha curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) –ver Figura 6, hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC).

En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Esta condición produce un incremento y decremento gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño, ya que esto disminuye la probabilidad de deslizamiento lateral de los vehículos que transitan por la vía. No cabe lugar a dudas de que la utilización de curvas en espiral mejora la apariencia y la circulación en una carretera.

Se han utilizado la parábola cúbica, la lemniscata y la clotoide en el diseño de curvas de transición, siendo esta última, también conocida como espiral de Euler, la más aceptada en el diseño de carreteras. Por

definición, el radio en cualquier punto de la espiral varía en relación inversa con la distancia medida a lo largo de la espiral. En la figura 6, se presentan las características geométricas de sus diferentes componentes.

La transición en espiral facilita el movimiento del timón, evitando cambios abruptos en la aceleración radial, que causa mucha incomodidad al conductor y los pasajeros, ya que la fuerza centrífuga se va incrementando hasta la curva circular y disminuye a la salida en sentido inverso, hasta alcanzar de nuevo la tangente. Esta longitud de transición es la longitud de la carretera en la cual se cambia de la sección con pendientes transversales normales que corresponde a una sección en tangente, a una sección con pendiente sobreelevada en un solo sentido y su punto inferior hacia el interior de la curva. Igualmente, la curva de transición ofrece una distancia apropiada de transición para la construcción de los sobreelevamientos exigidos por la curva circular.

Existen varios métodos para calcular la longitud de la curva de transición en espiral. El primero fue desarrollado en 1909, para aplicarse al diseño de curvas horizontales para ferrocarriles, aplicándose después al diseño de curvas de carreteras. La longitud mínima de transición de la espiral (L_e), se expresa de la siguiente forma:

$$L_e = 0.0702 \frac{V^3}{RC} \quad (\text{Sistema métrico})$$

Donde:

V = Velocidad en kilómetros por hora

R = Radio central de la curva, en metros

C = Tasa de incremento de la aceleración centrípeta, en m/seg^3

Este último parámetro es un valor empírico igual a la unidad en el diseño de ferrocarriles, pero cuyos valores varían entre 1 y 3 para aplicaciones en carreteras. Una observación muy valiosa y de índole práctica, es que el control para el cálculo de la transición no depende de la exactitud de la aplicación de la fórmula, sino de la longitud requerida para el desarrollo de la sobreelevación máxima entre la tangente y la curva circular.

Las longitudes de espirales en intersecciones se calculan de la misma manera que en carretera abierta, excepto que las espirales pueden tener longitudes menores ya que en las carreteras se aplican valores de C comprendidos entre 0.3 y 1.0, en tanto que en las intersecciones dicho valor puede estar entre 0.75 para velocidades de 80 kilómetros por hora y 1.2 para velocidades de 30 kilómetros por hora. Las longitudes mínimas de espirales, para los radios mínimos que gobiernan la velocidad de diseño, van desde 20 metros para velocidades de 30 kilómetros por hora y radios mínimos de 25 metros, hasta 60 metros para velocidades de 70 kilómetros por hora y radios mínimos de 160 metros.

4.2 Número de carriles de circulación

Divididas o no, las carreteras están provistas de uno, dos o más carriles de circulación por sentido y, excepcionalmente, de un solo carril habilitado para la circulación en ambos sentidos, con bahías o refugios estratégicamente ubicados a lo largo de la vía, para permitir las operaciones de adelantamiento o el encuentro seguro de dos vehículos en sentidos opuestos.

Se debe tomar nota que el carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento, la sumatoria de los carriles, a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras. Para ofrecer las mejores condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios, la superficie de rodamiento de las carreteras debe ser plana y sin irregularidades, resistente al deslizamiento y habilitada para la circulación del tránsito bajo todas las condiciones climáticas previsibles.

Existe una clara y comprobada relación entre el ancho del carril, el ancho utilizable de los hombros o la ubicación de las obstrucciones laterales y la capacidad de las carreteras, según los resultados que muestra la Tabla XVIII, adjunto. Los datos mostrados en el cuadro son calculados para flujos ininterrumpidos del tránsito, con un nivel de servicio B y pavimentos con estructuras de alta calidad.

Entiéndese por capacidad ideal en ese cuadro, la que corresponde a carriles de 3.6 metros con obstrucciones laterales a un mínimo de 1.8 metros. Las usuales restricciones laterales se refieren a muros de contención, bordillos de puentes, postes para instalaciones de servicios públicos, vehículos estacionados al lado de la vía, anclaje de cables y cualquier elemento físico instalado al lado de la vía. La existencia de hombros continuos de suficiente amplitud, tiende a alejar la colocación de restricciones laterales como las indicadas.

De la información insertada en este cuadro, se puede apreciar la manera sensible en que la falta de hombros disminuye la capacidad de una carretera típica de dos carriles, en un 30 por ciento cuando el ancho

de carril es de 3.6 metros y en un 42 por ciento cuando el ancho de carril disminuye a 3.0 metros. Estudios realizados, también han indicado que para carriles de 3.0 metros de ancho, la velocidad relativa disminuye en un 15 por ciento. Disminución de capacidad significa mayores posibilidades de accidentes en situaciones azarosas del tránsito.

Tabla XVIII. Efecto combinado sobre la capacidad ideal, del ancho de carril y la ubicación de las restricciones laterales

Ancho Útil De Hombros u Obstrucción Lateral	PORCENTAJE DE CAPACIDAD EN RELACIÓN A LA DEL CARRIL DE 3.6 METROS		
	3.6 m	3.3 m	3.0 m
Metros	3.6 m	3.3 m	3.0 m
Carretera de Dos Carriles			
1.8	100	93	84
1.2	92	85	77
0.6	81	75	68
0	70	65	58
Carretera de cuatro carriles sin mediana			
1.8	100	95	89
1.2	98	94	88
0.6	95	92	86
0	88	85	80

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.

4.3 Ancho de calles y carreteras

En la misma Tabla XVIII, se demuestra también que la escogencia del ancho de los carriles es una decisión que tiene incidencia determinante en la capacidad de las carreteras. Como parámetro de referencia durante el diseño, se debe tener a la vista la estructura del tránsito proyectado, que a su vez y en la medida de la importancia relativa del tránsito pesado dentro del mismo, hará necesario que la dimensión de cada carril sea habilitada para que los camiones y las combinaciones de vehículos de diseño, con 2.6 metros de ancho, se puedan inscribir cómodamente y a las velocidades permisibles, dentro de la franja de circulación que les ha sido habilitada.

En el ambiente vial nacional, un ancho de carril de 3.6 metros se considera como el ideal para las condiciones físicas más exigentes de la vía y el tránsito, en coincidencia con las normas norteamericanas vigentes, variando según el tipo de carretera hasta un mínimo tolerable de 2.7 metros en caminos rurales de poco tránsito.

El ancho de carril de 3.6 metros es deseable para las carreteras de la red nacional, de manera que una calzada de dos carriles con 7.2 metros ofrecerá óptimas condiciones para la circulación vehicular. Cuando haya restricciones en el derecho de vía, el carril de 3.3 metros se considerará recomendable; en tanto que el carril de 3.0 metros de ancho es aceptable únicamente en el caso de vías diseñadas para baja velocidad. Se admite el uso de carriles de 3.3 metros en la parte interior de autopistas y hasta 3.9 metros en los carriles exteriores, para permitir más comodidad y seguridad a los vehículos lentos y a las bicicletas. En el diseño de carriles

contiguos y de doble sentido de circulación, en el centro de la sección transversal para facilitar los giros a izquierda, los anchos recomendables varían entre 3.0 y 4.8 metros.

Los carriles de aceleración y deceleración, son dispositivos efectivos en la reducción de los accidentes, ya que reducen las desaceleraciones bruscas de los vehículos en un tramo carretero, al igual que los carriles adicionales para ascensos y descensos, determinados por el alineamiento vertical de las carreteras con porcentajes significativos de vehículos pesados en la corriente del tránsito y bajas velocidades, deberán disponer de un ancho mínimo de 3.3 metros.

En lo que corresponde a la superficie del pavimento de la calzada, ésta estará determinada por el volumen y la composición del tránsito, las características del suelo y del clima, la disponibilidad de materiales y el costo durante todo el ciclo de vida del proyecto. Los pavimentos con superficie de rodamiento de alta calidad, ofrecen una superficie tersa, buenas cualidades antiderrapantes y bajo costo de mantenimiento, por la perfección del diseño y el estricto control de calidad de los productos utilizados. Los de calidad intermedia varían desde los tratamientos superficiales bituminosos hasta pavimentos asfálticos de alta calidad, pero sometidos a menores controles para reducir costos. Las superficies de baja calidad se presentan en carreteras con superficies de grava, suelos estabilizados o tratados químicamente y simple material selecto compactado.

Figura 14 Derecho de Vía y Sección Transversal Típica de una Carretera Colectora

Figura 15 Derecho de Vía y Secciones Transversales Típicas de una Carretera Troncal

4.3.1 Arriate central

La mediana o franja separadora central, también conocida como arriate central, es una franja de terreno localizada al centro de los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal, o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas, recomendándose en este caso particular que la pendiente de la mediana sea en la proporción 6 a 1, aunque una relación de 4 a 1 puede ser igualmente aceptable.

Todos los tragantes de drenaje en la mediana deben construirse a ras del suelo y protegidos con parrillas, para que no se constituyan en peligrosos obstáculos para los vehículos descarrados que puedan provocar de esta forma desafortunados accidentes.

En breve, las medianas tienen las siguientes funciones principales:

- Separar físicamente los flujo de tránsito de sentido contrario.
- Evitar o reducir el deslumbramiento durante la conducción nocturna, de los conductores de ambos sentidos de circulación.
- Dotar a la carretera de un ancho de reserva para futuras ampliaciones, función que se le otorga una considerable importancia.
- Embellecer la facilidad vial y mejorar la calidad ambiental de su entorno.
- En situaciones especiales puede servir para la atención del movimiento peatonal.

Tabla XIX. Anchos de arriates centrales para las carreteras de la red vial nacional

Tipo	Clasificación	Ancho de Arriate (m)
AR	Autopistas regionales	4 – 12
TS	Troncales suburbanas	4 – 10
TR	Troncales rurales	2 – 6
CS	Colectoras suburbanas	Sin Mediana
CR	Colectoras rurales	Sin Mediana

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.*

En zonas rurales o montañosas el ancho mínimo de una mediana se puede reducir a un metro, llegando en casos extremos a limitarse a 0.5 metros, lo cual minimiza su participación de los beneficios anunciados. La experiencia ha demostrado que las medianas pueden tener anchos hasta de 12 metros ó más, para incrementar al máximo la sensación de separación e independencia de operación de las corrientes opuestas. Dentro de este elenco de opciones y con una visión práctica, se recomiendan los anchos que muestra el Cuadro 19, para aplicar a las carreteras del sistema nacional.

Un ancho de 4.0 metros es suficiente para la construcción de un carril para giros a izquierda, con 3.0 a 3.5 metros para la franja de circulación y la dimensión restante para proveer un bordillo mínimo separador, a la vez que de protector. Además, se pueden permitir giros en U, desde luego que no con las ventajas que ofrecen las medianas mayores que alcanzan de 8 y 10 metros. Una mediana de 10 metros provee suficiente refugio transversalmente para el automóvil y el camión pequeño de diseño, que son los componentes mas frecuentes en el tránsito, pero con un poco de limitaciones para el autobús de diseño. Ver la Figura 16

4.4 Hombros o espaldones

Los hombros o espaldones, que son las franjas de carretera ubicadas contiguo a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes, tienen su justificación en:

- i) La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido, en defecto de los hombros, estos vehículos en problemas se ven invitados a invadir los carriles de circulación, con riesgos para la seguridad del tránsito ya que estos representan obstáculos para el libre transitar de los usuarios de la vía.
- ii) Para llenar la importante función de dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento.
- iii) Para permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique y iv) para proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito.

Donde haya que acomodar ciclistas, es aconsejable ampliar los hombros a 1.2 metros de ancho mínimo, para evitar que estos tengan percances con los vehículos.

Puesto que por otra parte es recomendable que un vehículo estacionado o en reparación despeje el carril exterior a una distancia comprendida entre 0.3 y 0.6 metros, se ha recomendado que el hombro exterior alcance una sección de 3.0 metros en las carreteras de alto desempeño, para dar refugio a un vehículo pesado de 2.6 metros de ancho, reduciéndose a 2.5 metros dicho requerimiento, si el propósito es proteger un automóvil cuyo ancho de diseño es de 2.1 metros.

Para las autopistas regionales y las troncales suburbanas se recomienda un mínimo de 2.5 metros de ancho de hombro exterior, siendo admisible reducir dicho requerimiento hasta 1.8 metros. Los hombros deben ser revestidos para proporcionar un mejor soporte a la calzada y redondeados en el borde exterior, lo cual se hace con el fin de evitar que los bordes con filo dañen los neumáticos al momento del contacto entre ambos. Dentro de la práctica corriente de diseño de los hombros, debe considerarse una pendiente máxima transversal del 5 por ciento dependiendo de la pluviosidad del lugar, empezando con un mínimo de 2 por ciento. Por tipo de superficie, los hombros pueden tener pendientes transversales de 2 al 6 por ciento cuando se trata de hombros asfaltados o con concreto hidráulico, de 4 a 6 por ciento en hombros revestidos de grava y de 8 por ciento en hombros engramados. En curvas horizontales con sobreelevación, predomina el porcentaje de sobreelevación de la calzada.

4.5 Calles de servicio o marginales

Un componente de mucha utilidad en el diseño de la sección transversal de las carreteras y arterias principales, tanto urbanas como suburbanas, son las calles de servicio o marginales, que se construyen para atender las funciones básicas de acceso a las propiedades colindantes y brindar servicio al movimiento local, dejando a la arteria principal a cargo de las funciones más importantes de movilidad del tránsito a distancia.

Esta conveniente separación de funciones entre dos elementos que operan en conjunto, favorece la fluidez de la circulación y mejora la capacidad del sistema, evitando de esta forma la probabilidad de accidentes que se pudieran producir debido a una parada repentina de un rodado.

Las calles marginales pueden mantener un alineamiento paralelo a la vía principal, ubicadas a uno y otro lado del eje central del conjunto, pero igualmente pueden seguir alineamientos diferentes y bien identificados, ser discontinuos y, preferiblemente, operar con circulación en un solo sentido para mejorar la seguridad y de paso simplificar el diseño de las intersecciones con la vía principal.

Tabla XX. Anchos Mínimos de Hombros y Aceras

Tipo de Carretera	Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Arriate (m)		Ancho de Ace
			Internos	Externos	
AR Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0-1.5	1.8-2.5	---
TS Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0-1.5	1.8-2.5	1.2-
TR Troncales Rurales	-----	Alto	0.5-1.0*	1.2-1.8	1.2-
CS Colectoras Suburbanas	-----	Intermedio	0.5*	1.2-1.5	1.0-
CR Colectoras Rurales	-----	Intermedio	-----	1.2-1.5	1.0-

* Solamente con mediana.

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.

**Figura 16 SECCIÓN TIPO EN RECTA DE ARTERIAS PRINCIPALES
CON MEDIANA**

En áreas de poco desarrollo urbano, puede tolerarse la circulación de doble sentido en las calles marginales, para reducir los hechos de tránsito y mayores recorridos que afectarían al movimiento local.

Las conexiones entre las calles marginales y la autopista o la arteria principal son elementos críticos del diseño, que como regla general deben espaciarse convenientemente para reducir la frecuencia de tales puntos de conflictos. Las rampas de transferencia de la pista principal a la calle marginal de un sentido o viceversa, operan de manera simple y sin conflictos, conflictos que se hacen presentes cuando la circulación en la calle marginal es de doble sentido.

Una franja exterior de suficiente ancho debe separar la pista principal de las calles marginales, ofreciendo una zona de transición que se presta para su desarrollo como zona verde arborizada, que contribuye a reducir los conflictos de vehículos y peatones locales. La franja debe drenar hacia cunetas y alcantarillas dentro de la vía marginal o a un tragante dentro de la misma franja, según su configuración.

La construcción de autopistas y arterias en áreas suburbanas y urbanas, por zonas que han alcanzado un cierto grado de desarrollo y valoración de la propiedad del suelo, máxime si se desea incorporar calles marginales a la solución, plantea problemas de adquisición de derechos de vías que, por insuperables, desalientan y hasta malogran los buenos propósitos de la planificación del desarrollo de las redes de transporte.

4.6 Intersecciones a nivel de las carreteras

4.6.1 Conceptos generales de una intersección

Se denomina **intersección** el área donde dos o más carreteras se **intersectan, ya sea uniéndose o simplemente cruzándose**. A cada vía que sale o llega a una intersección se le puede identificar como ramal o acceso de la intersección. A los elementos que unen las distintas ramas de una intersección se les conoce como enlaces, que adquieren el nombre de rampas cuando unen dos vías a diferentes niveles.

Dentro del área de una intersección, se realizan maniobras de divergencia o separación, convergencia o integración y cruce, a las cuales se deben añadir las maniobras de entrecruzamiento.

Todas estas maniobras son fuente de conflictos, no sólo para el conductor que realiza la maniobra misma, sino que puede abarcar también a otros vehículos que se aproximan a la zona de conflicto, en la cual los conductores involucrados en el propio uso de la intersección, pueden causar trastornos o problemas a los demás conductores que operan hacia delante o hacia atrás de la intersección.

La **divergencia o separación** es la maniobra más sencilla y, por lo tanto, la menos conflictiva de las que se realizan en una intersección. El área de conflicto comienza en el punto donde se reduce la velocidad del vehículo que se separa de la corriente, afectando al vehículo que va detrás de él a distancia prudencial, hasta que completa la maniobra.

La **convergencia o integración** no puede realizarse a voluntad del conductor, sino que debe ser diferida hasta que exista un espacio adecuado entre dos vehículos que circulen por el carril al cual se va a incorporar. El área de conflicto se extiende hasta donde el vehículo que converge alcanza la velocidad de la corriente del tránsito en dicho carril.

El área de conflicto del **cruce** ocurre a una distancia del área de posible colisión hacia atrás, tanto del vehículo que cruza como de los vehículos que facilitan dicho cruce en la intersección.

Bajo la denominación de **entrecruzamiento** se identifica el cruce de dos corrientes de tránsito que circulan en un mismo sentido y se efectúa mediante sucesivas maniobras de convergencia y separación. La zona de entrecruzamiento la constituye un camino de un sentido de circulación, cuya longitud y ancho determina la posibilidad de que en forma segura se realicen las maniobras de convergencia en un extremo y de divergencia en el extremo opuesto.

En las zonas de entrecruzamiento las operaciones deben realizarse a una baja velocidad relativa, para obtener mayor seguridad con un mínimo de demora para los usuarios. La longitud de la zona de entrecruzamiento determina el tiempo de maniobra disponible para los usuarios de la instalación, como sucede típicamente en las rotondas. De hecho, un cruce directo de dos carreteras se puede transformar mediante el diseño en una zona de entrecruzamiento.

El proyecto de una intersección se inicia desde el estudio de **las áreas de maniobra**, que incluye el área potencial de colisión o conflicto y la parte de los accesos desde la cual se ve afectada la operación de los vehículos. Las áreas de maniobras pueden ser simples, múltiples y compuestas. Es **simple** cuando dos vías de un solo sentido de circulación y un solo carril se cruzan, convergen y divergen. Es **múltiple** cuando se presentan las mismas condiciones de circulación unidireccional, pero concurren más de dos carreteras o arterias en la intersección. Es **compuesta**, cuando las maniobras se efectúan en más de un solo carril de circulación.

Las áreas de maniobras múltiples deben evitarse hasta donde ello sea posible. Para una buena operación del tránsito es fundamental que los conductores afronten un solo conflicto cada vez. Debe haber suficiente separación en tiempo o en espacio, entre dos áreas de maniobras sucesivas, para brindar las condiciones necesarias para que los conductores ajusten sus velocidades y trayectorias a las condiciones de cada conflicto potencial.

4.6.2 Clasificación General

En general se clasifican las intersecciones de la siguiente manera, mencionadas en orden creciente de importancia y complejidad en su diseño:

- Intersecciones convencionales al mismo nivel
- Intersecciones canalizadas
- Intersecciones controladas por semáforos
- Rotondas ó intersecciones giratorias
- Intersecciones a distinto nivel e intercambios

4.6.3 Criterios de selección y diseño de las intersecciones

Conviene hacer de inicio algunas consideraciones básicas de alcance general, sobre el diseño de las intersecciones de las carreteras:

- El diseño de las intersecciones de una carretera debe corresponder en un todo a su función, responder así a las necesidades de los vehículos automotores que se interceptan o mezclan en dicha área de encuentro.
- La seguridad en las intersecciones, depende en gran medida de su percepción por los usuarios, de la facilidad con que la geometría y el funcionamiento de la misma es percibida desde lejos y en sus proximidades, y comprendida por automovilistas y peatones. En este sentido, resulta interesante el mantenimiento de una cierta homogeneidad en el diseño de las intersecciones a lo largo de una carretera.
- Debe resaltarse el diseño y construcción de aquellas intersecciones que marcan el cambio entre dos tramos diferentes. Concretamente, la primera intersección de una carretera o segmento de la misma tiene una importancia decisiva para el comportamiento de los conductores en el conjunto de la instalación vial. En dicha intersección deben manifestarse las nuevas funciones de la vía, la velocidad que se pretende garantizar, su capacidad y la transición entre los dos regímenes de circulación.

- En las intersecciones a nivel, puede ser útil el empleo de materiales especiales en la superficie de rodamiento, que sean visibles día y noche y que demarquen el espacio del cruce.
- La velocidad de circulación en la intersección y su entorno debe reflejarse en su geometría y ser complementada por una señalización clara y concisa.
- Adquiere importancia decisiva en las intersecciones la información sobre destinos, por lo que un efectivo señalamiento de tipo informativo resulta imperativo para facilitar la oportuna toma de decisiones de parte de los usuarios evitando de esta forma accidentes.
- Desde el punto de vista de la geometría del diseño geométrico, deben establecerse con cierta exactitud los radios de giro, en función del vehículo de diseño, y proyectarse en forma consecuente las islas y contornos de la intersección.

Las intersecciones rurales y suburbanas tienen una singular caracterización en aspectos operativos y de seguridad, conforme se describe a continuación:

Tabla XXI. Aspectos operativos y de seguridad de las intersecciones

Relaciones	Intersecciones Rurales	Intersecciones Suburbanas
Operativas	<p>Mantenimiento de alta velocidad en los movimientos de tránsito directo.</p> <p>Fácil travesía para conductores nuevos en la ruta.</p> <p>Disposición de movimientos cómodos en los giros.</p>	<p>Flexibilidad para absorber el crecimiento del tránsito.</p> <p>-Control de accesos a lo largo de las rutas del tránsito mayor.</p> <p>-Mantenimiento de capacidad en las intersecciones principales dotadas de instalaciones semaforizadas.</p>
De seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Mitigación de conflictos en las colas de vehículos, ante maniobras de giro. - Proveer una configuración geométrica adecuada, y distancias de visibilidad apropiadas para la selección y aceptación de espacios o brechas entre vehículos. - Evitar situaciones sorpresivas para los conductores de los vehículos, por elementos de diseño inadecuados en la intersección 	<p>Previsión de ángulos de conflictos por la parte trasera de los vehículos en intersecciones congestionadas.</p> <p>Localización de problemas relacionados con peatones.</p> <p>Eliminación o mitigación de los conflictos en los accesos de las vías.</p>

El número de conflictos que puede enfrentar el tránsito vehicular en una intersección de dos carreteras es considerable, pero se puede modificar dentro de ciertos límites a voluntad del diseñador, como se muestra en la Figura 17.

En una intersección común de cuatro ramales o accesos y circulación en ambos sentidos, se eleva a 32 el número de puntos de conflicto, reduciéndose dicho número a 8, cuando se presenta la misma condición anterior, pero bajo el control de semáforos que operan en un ciclo normal.

El número de conflictos se reduce aún más, a un total de 5, cuando los cuatro accesos operan con un solo carril de un sentido de circulación. En una intersección en T o sea con tres ramales y circulación en ambos sentidos, el número de conflictos potenciales se eleva a un total de 9. En una intersección de seis ramales y circulación en ambos sentidos, afortunadamente poco usual, se eleva a un total de 172 los puntos de posible conflicto.

La frecuencia de los conflictos depende de los volúmenes de tránsito que se encuentran en la distribución de las trayectorias del flujo de vehículos. En una intersección de cuatro ramales y circulación en ambos sentidos, donde entran 200 vehículos por hora, de los cuales el 10 por ciento gira a la derecha y un porcentaje igual gira a la izquierda, el total de conflictos potenciales se eleva a 1,200 por hora.

La clasificación de las carreteras, los volúmenes de tránsito que atienden y la velocidad con que operan en los distintos ramales, con su enorme potencial de conflictos, son los factores que determinan el tipo de intersección a seleccionar. En este sentido existen intersecciones de tres, cuatro y más accesos, con y sin canalizaciones.

**FIGURA 17 INTERSECCIONES DE TRES Y CUATRO ACCESOS
CON POSIBLE NÚMERO DE CONFLICTOS**

FIGURA 18 INTERSECCIONES DE TRES ACCESOS O EN “T”

FIGURA 19 Tipos de Intersecciones de Cuatro Accesos

5. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS VERTICALES DE UNA VÍA

5.2 Pendientes de calles y carreteras

El alineamiento vertical de una carretera está ligada estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes.

Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Visibilidad y accidentalidad.
- Composición del tránsito.
- Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

Idealmente se desea que los vehículos operen en el cambio más alto en el alineamiento vertical, sin necesidad de cambiar hasta la detención; pero por consideraciones económicas se aceptan pendientes mayores a las ideales. El cuadro siguiente, contiene una clasificación de las pendientes en los terrenos naturales donde se localizan las carreteras.

Tabla 22. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o Plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1994.*

La AASHTO identifica las tres categorías generales de terreno del cuadro anterior, en la forma que se describe seguidamente:

Terreno plano es aquel en el cual se dan condiciones topográficas favorables para los levantamientos de campo, el diseño horizontal y vertical, la construcción y reconstrucción de las obras viales, facilitándose el mantenimiento y la segura, cómoda y económica operación de los vehículos. Las distancias de visibilidad en el alineamiento horizontal y vertical pueden lograrse sin mayores dificultades.

El **Terreno ondulado** presenta frecuentes pendientes de subida y bajada y, ocasionalmente, ofrece algunas dificultades y restricciones en el alineamiento horizontal y vertical de las carreteras.

El último tipo se identifica como **terreno montañoso**, el cual ofrece dificultades y altos costos en la construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, que se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables. Las pendientes longitudinales y transversales son frecuentes en este tipo de terreno.

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia muy relevante en la operación de los vehículos que circulan por ellas. En los automóviles, las pendientes de subida hasta 5 por ciento, no tienen influencia apreciable en su velocidad, cuando se compara con las correspondiente a terreno plano. En pendientes de subida mayores, la velocidad decrece progresivamente, y en las de bajada estos vehículos livianos sufren un pequeño aumento, siempre comparadas con las velocidades en terreno plano. Las condiciones del sitio relacionadas con comodidad y seguridad, imponen restricciones a estas velocidades.

En vehículos pesados, la influencia de las pendientes es bastante significativa por el atraso que produce a otros vehículos, especialmente en carreteras con altos o significativos volúmenes de tránsito, ya que la velocidad de estos vehículos se reduce tanto en subida, como en bajadas.

Tabla 23. Reducción de velocidad de vehículos pesados en pendientes ascendentes

Pendiente (%)	Reducción de Velocidad Km/h	Longitud (m)
3.5	40	1000
5	50	700
7	50	400
8	50	300
9	50	300

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.

Tratándose de vehículos livianos de pasajeros, como los automóviles, la reducción de velocidad en pendientes ascendentes en 1,000 metros, es la mostrada en el cuadro siguiente.

Tablas 24. Reducción de Velocidad de Vehículos Livianos en Pendientes Ascendentes de 1000 Metros de Longitud

Pendiente (%)	Reducción de Velocidad Km/h
3.0	10
3.9	15
4.6	20
5.1	25

Fuente: AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 1994.

5.2 Curvas verticales

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o concavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

5.3 Pendiente transversal

La pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser del 2.0 por ciento del centro de la sección hacia fuera. Cuando existan más de dos carriles por sentido, cada carril adicional irá incrementando su pendiente transversal entre 0.5 y 1.0 por ciento.

En áreas de intensa precipitación pluvial, la pendiente de los carriles centrales puede incrementarse a 2.5 por ciento, con el fin de evacuar de la carpeta de rodadura de una forma mas rápida el agua de lluvia, la cual es causante de muchos accidentes, ya que disminuye la adherencia del vehículo, incrementando también con un medio por ciento en los carriles contiguos hacia fuera, pero sin superar un 4.0 por ciento.

Para carreteras con superficie de calidad intermedia, la pendiente transversal desde la cresta de la sección puede variarse entre 1.5 y 3.0 por ciento, en tanto que las carreteras con superficie de rodamiento de baja calidad, el rango de pendiente transversal puede fijarse entre 2.0 y 4.0 por ciento.

No se estimula el uso de secciones parabólicas para conformar la pendiente transversal de una carretera de cuatro carriles, debido a que la caída del borde exterior del pavimento es muy acentuada y, aunque conveniente para efectos del drenaje, puede ser peligrosa para la conducción vehicular.

FIGURA 20 TIPOS DE PENDIENTE DE LA SECCION TRANSVERSAL EN TANGENTE

6. SEÑALIZACIÓN DE CALLES Y CARRETERAS

Definición

Las señales son dispositivos de control de tránsito instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios.

Clasificación

Desde el punto de vista funcional, las señales verticales se clasifican en:

1. Señales de Reglamentación:

Son las que indican al conductor sobre la prioridad de paso, la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país. La violación de la regulación establecida en el mensaje de estas señales constituye una contravención, que es sancionada conforme con lo establecido en la ley o reglamento de tránsito. Este tipo de infracciones se sanciona con multas, el retiro de la circulación del vehículo, o la suspensión de la licencia.

2. Señales de Prevención:

Son las que indican al conductor de las condiciones prevalecientes en una calle o carretera y su entorno, para advertir al conductor la existencia de un potencial peligro y su naturaleza.

3. Señales de Información:

Son las que guían o informan al conductor sobre nombres y ubicación de poblaciones, rutas, destinos, direcciones, kilometrajes, distancias, servicios, puntos de interés, y cualquier otra información geográfica, recreacional y cultural pertinente para facilitar las tareas de navegación y orientación de los usuarios.

6.1 Función de las señales

El propósito del señalamiento vial y los dispositivos de control de tránsito, las reglas de justificación para su uso, es facilitar y garantizar el movimiento ordenado, seguro y predecible de todos los usuarios de la vía a través de toda la red vial, sean estos flujos automotores, peatonales o de otra índole. Asimismo, los dispositivos de control también tienen por objeto guiar y advertir a los usuarios de la vía conforme sea necesario, para garantizar la operación segura y uniforme de los elementos individuales de la corriente de tránsito.

El señalamiento y los dispositivos de control de tránsito deben ser utilizados para dirigir y asistir a los conductores en las tareas de prevención, guía, orientación y navegación propias de la conducción de un vehículo automotor para garantizar el viaje seguro en cualquier calle, camino o carretera

abierta al público. El señalamiento de guía e información debe estar restringido al control del tránsito, usarse cuando sea estrictamente necesario y no se debe utilizar como un anuncio o medio de publicidad de ninguna índole.

6.2 Criterios de instalación

Este renglón se establecen los principios básicos que rigen el diseño y uso de los dispositivos de control de tránsito. Es importante que estos principios se consideren de forma prioritaria en la selección, aplicación y adaptación de cada señal o dispositivo de control de tránsito para todo tipo de calles, caminos y carreteras abiertas al público, independientemente de su tipo, clase o del ente público que tenga jurisdicción sobre ellas.

Para que sea efectivo, cualquier dispositivo para el control del tránsito deberá cumplir con los requisitos fundamentales que se enumeran a continuación:

1. Satisfacer una necesidad para el adecuado desenvolvimiento del tránsito. Cuando se coloca un dispositivo donde no se requiere, no sólo resulta inútil sino perjudicial por cuanto inspira irrespeto en el usuario. Además, cuando este problema es frecuente, en forma reiterada se violan las expectativas de los usuarios, con lo cual se fomenta una cultura de desobediencia generalizada al señalamiento.
2. Atraer la atención del usuario. Todo dispositivo debe ser advertido por el público. Cuando esto no se cumple, el dispositivo resulta completamente inútil.

3. Transmitir un mensaje claro y sencillo. La indicación suministrada por un dispositivo debe ser lacónica y clara para que sea interpretada rápidamente.
4. Infundir respeto a los usuarios de la vía. Los usuarios deben ser compelidos, por la sensación que brinde el dispositivo, a respetar la indicación que éste transmite. Se debe utilizar un lenguaje formal.
5. Permitir suficiente tiempo y espacio para una respuesta adecuada. Los dispositivos deben tener un diseño claro e uniforme tanto en el texto, forma y color, colocarse de modo que el usuario, al advertirlos, tenga suficiente tiempo y espacio para efectuar la maniobra o realizar la acción requerida conforme lo dispongan los mensajes.

Para conseguir los propósitos antes mencionados, deben tenerse en cuenta los factores básicos tales como; Diseño, Localización, Operación, Uniformidad y Mantenimiento. Para el caso de Centroamérica estos factores de señalización de la red vial están normados por la nueva versión del MANUAL CENTROAMERICANO DE DISPOSITIVOS UNIFORMES PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO, actualizado en el año dos mil dos.

El Manual de Señales Viales Centroamericano, como anexo original del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes, fue aprobado en 1958 y oficialmente adoptado por cada país en una fecha posterior.

6.3 Su visibilidad

Desde las últimas dos décadas del siglo XX se han presentado varios problemas que afectan la efectividad del señalamiento y dispositivos de control del tránsito instalados a lo largo de la red vial, en particular, en aquellas carreteras primarias que comunican a los principales centros de actividad comercial y turística. La existencia de publicidad y avisos o mensajes dentro del derecho de vía de calles y carreteras constituye un problema. Existen razones técnicas que justifican tal limitación, y están respaldadas por las leyes y reglamentos que al respecto se han emitido.

El Manual de Señales que se anexa al Acuerdo Centroamericano, establece la prohibición de colocar en una señal o aparato que sirva para regular el tránsito cualquier cosa que no tenga relación con el objeto de tal señal o del dispositivo.

Cuando las señales están colocadas para que los vehículos las observen, se requiere que sean visibles desde una distancia apropiada ya que si se trata de señales que contienen letreros, el conductor necesita tiempo para leerlos, el cual está dado por la fórmula:

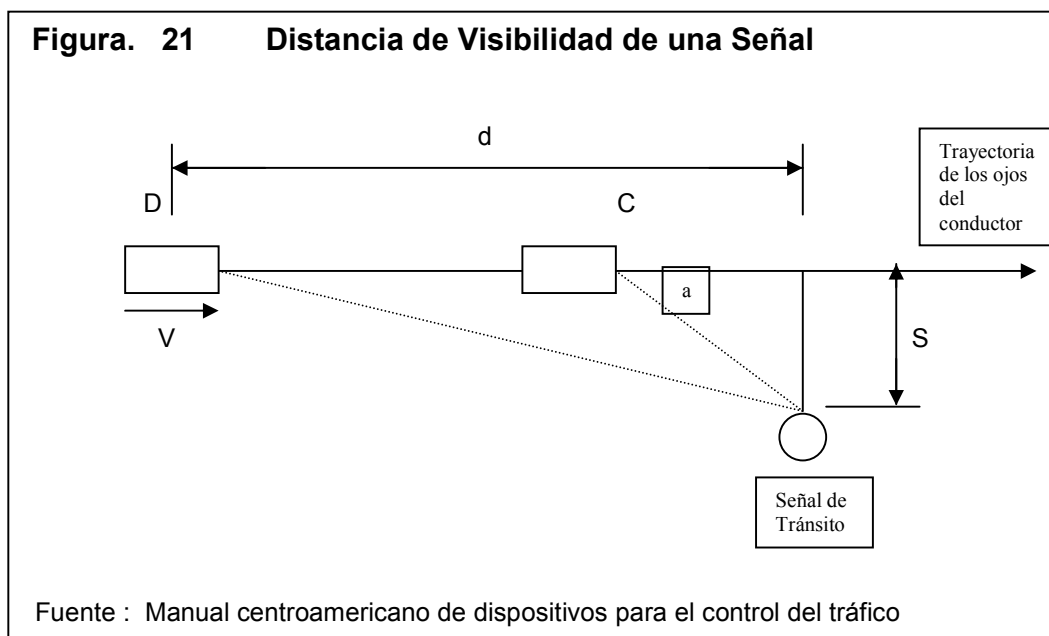
$$T(\text{segundos}) = 0.31 N - 1.94$$

Donde "N" es el número de palabras que contiene la señal.

Las señales deben colocarse separadas del borde de la carretera por razones de seguridad, cuando el vehículo se encuentra distante del ángulo entre

el eje de la vía y la señal es pequeño esto permite ver la señal y atender a su contenido.

A medida que se acerca a la señal el ángulo de desviación aumenta hasta que es imposible entender la lectura. Por lo tanto debe de existir una distancia que permítale tiempo para leer la señal y reaccionar adecuadamente ante su contenido.



Si se observa la Figura 21, se puede deducir lo siguiente:

Si la distancia de del eje de la carretera a la señal es S y L , el ángulo de desviación máxima será:

$$BC = \frac{S}{\operatorname{tg}(d)}$$

que es la distancia en la que el conductor no podrá seguir leyendo la señal.

Por otra parte, el tiempo que se requiere para leer la señal, si se viaja a una velocidad V (Km/h), determinara una distancia.

$$CD = \frac{VT}{3.6}$$

donde CD está en metros, V en Km/h y T en segundos.

La distancia mínima de visibilidad deberá ser cuando menos:

$$d = BC + CD$$

$$d = \frac{S}{\text{tg}(d)} + \frac{VT}{3.6}$$

a esta distancia “ d ”, se vera la señal con claridad.

Esta distancia, debe ser igual o menor a la Distancia Fisiológica de Visión, que es aquella desde la cual, una persona de vista normal, puede distinguir un símbolo o una señal.

Existe además una relación constante entre la distancia fisiológica df y la altura de la letra:

$df = k.h$ debe ser mayor o igual a d .

$$h = \frac{S}{k * \text{tg}(d)} + \frac{VT}{3.6k}$$

6.4 Localización de las señales

La ubicación de los dispositivos debe ser tal que garantice que el dispositivo esté dentro del cono visual del usuario, de manera que atraiga su atención y facilite su lectura e interpretación tomando en consideración la velocidad a la que vaya el vehículo.

El dispositivo debe estar posicionado con respecto al punto, objeto o situación a la cual se aplica, para ayudar a transmitir el mensaje correcto.

Su localización, combinada con una legibilidad adecuada, debe ser tal que un conductor viajando a velocidad normal cuente con tiempo suficiente para su comprensión y para responder en forma adecuada, ya sea para efectuar la maniobra o realizar la acción requerida conforme lo dispongan los mensajes.

Se debe tener cuidado de no instalar demasiadas señales. Se recomienda un uso conservador de las señales de regulación y prevención. Ello obedece a que estas señales, si se usan en exceso, tienden a perder su efectividad.

Por otra parte, el uso frecuente de señales de identificación y de destino para mantener al conductor informado de su ubicación y curso, no disminuye el valor de estas señales informativas.

6.5 Marcas viales en el pavimento

6.5.1 Definición

La demarcación está constituida por las líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

6.5.2 Funciones

Las marcas en el pavimento desempeñan funciones definidas e importantes en un adecuado esquema de control de tránsito. En algunos casos, son usadas como complemento de las órdenes o advertencias de otros dispositivos, tales como señales verticales y semáforos. En otros, transmiten instrucciones que no pueden ser presentadas mediante el uso de ningún otro dispositivo, siendo un modo muy efectivo de hacerlas claramente comprensibles.

6.5.3 Limitaciones

La escasa visibilidad en pavimentos húmedos y el rápido desgaste que sufren en superficies expuestas a un tránsito intenso constituyen las principales limitaciones de las marcas en el pavimento. Sin embargo, cuentan a su favor con la importante ventaja de que, en circunstancias favorables, aumentan considerablemente la seguridad de los automovilistas puesto que les indican regulaciones y advertencias sin que por ello aparten su atención de la carretera.

6.5.4 Uniformidad

Como sucede con otros dispositivos de control de tránsito, la demarcación en el pavimento debe ser uniforme en diseño, localización y aplicación, de manera que se simplifique la labor del usuario para reconocerla y entenderla instantáneamente.

Cada marca en el pavimento debe ser usada solo para transmitir el mensaje prescrito. Las marcas que no tengan aplicabilidad y puedan causar confusión a los usuarios deben ser removidas.

De igual modo, si una marca indica alguna condición especial de la vía o alguna restricción, debería eliminarse cuando esta condición deje de existir.

6.5.5 Clasificación

Por su uso, la demarcación se clasifica como sigue:

1. Demarcación de pavimentos

- Líneas de centro
- Líneas de carril
- Líneas de barrera
- Líneas de borde de pavimento
- Transiciones en el ancho del pavimento
- Líneas de canalización
- Aproximaciones a obstáculos

- Marcas de giros
- Líneas de parada
- Pasos para peatones
- Aproximaciones a pasos a nivel con vías férreas
- Zonas de estacionamiento
- Palabras y símbolos sobre el pavimento
- Marcas para regular el uso de la vía
- Otros dispositivos y marcas auxiliares

2. Demarcación para indicar restricción de estacionamiento:

- Línea de borde amarilla
- Línea de borde roja
- Línea de borde verde
- Línea de borde azul

6.5.5 Materiales

El método más común de demarcar pavimentos, bordes de calles o carreteras y objetos, es mediante la pintura. Sin embargo, otros materiales tales como termoplásticos, concreto coloreado, incrustaciones planas fabricadas en metal cerámica, plástico entre otros, o elementos metálicos, se utilizan también en las demarcaciones.

La visibilidad nocturna de las marcas en el pavimento se aumenta mediante el uso de pequeñas incrustaciones de vidrio (esferas pequeñas o perlas), dentro del material de demarcación del pavimento, para así producir una superficie que refleje la luz.

Las esferas de vidrio incrustadas en la superficie de la carretera reflejan una gran parte de la luz incidente de los faros de automóviles directamente hacia los ojos del conductor en su posición normal, haciendo que las marcas parezcan luminosas de noche.

Aunque el costo inicial de tales demarcaciones reflectantes es mayor que el de la pintura ordinaria de tránsito, muchas empresas constructoras de carreteras, han reportado que el aumento de la vida útil de las demarcaciones, especialmente en sitios densamente transitados, compensa bien la diferencia de su costo.

Todas las marcas en el pavimento deben ser claramente visibles durante la noche, la reflectorización no es normalmente esencial donde existe una buena iluminación vial, pero aún sobre calles de ciudad que están bien iluminadas es deseable que las demarcaciones sean reflectantes.

7. EDUCACIÓN VIAL

En términos generales, la educación para la seguridad vial, es enseñar a las personas a que usen las vías de comunicación terrestres en forma segura. Consiste en brindar una base y guía, sobre las cuales las personas puedan desarrollar una estrategia propia para enfrentar los peligros del ambiente vial. La educación para la seguridad vial, es un área de trabajo que se adapta en forma natural a la mayoría de las áreas y temas de las materias impartidas en escuelas y colegios.

7.1 Cuales son las metas principales de la educación vial

Ayudar a las personas a que usen las vías de comunicación terrestres en forma segura en el desarrollo de:

- a.** Su conocimiento y comprensión del ambiente vial.
- b.** Sus habilidades para tomar decisiones y de comportamiento necesarias para moverse en el ambiente vial.
- c.** Su conocimiento y comprensión de las reglas que influyen y controlan las acciones de los usuarios de la red vial.
- d.** Su conocimiento y comprensión de las causas y consecuencias de los accidentes de tránsito.
- e.** Actitudes responsables en relación con la seguridad propia.

7.2 Por que es importante la educación para la seguridad vial

El ambiente de la infraestructura vial y del tráfico vehicular, afecta diariamente nuestras vidas de manera profunda, sea cual sea el país que se trate, ya sea que se trate de adultos o menores de edad. Los niños, en países en desarrollo pasan gran parte de tiempo como peatones y son usuarios de caminos y carreteras extremadamente peligrosas. La educación para la seguridad vial, sirve para mejorar el comportamiento de los pilotos, proporcionando medidas aplicando la Ingeniería Vial, las cuales, son necesarias para revertir este aspecto negativo del entorno vial.

7.3 Educación vial como parte del programa escolar

Para que se avance a nivel nacional, en lo relacionado a la prevención de accidentes y la reducción de daños, tiene que definirse como una meta nacional, con estructuras administrativas eficientes implementadas a todo nivel. Para que la información de la seguridad vial sea realmente efectiva, esta requiere de una estructura clara, así como de un plan de educación, sostenido y coherente.

Por lo tanto es necesario que las políticas y los objetivos de la Educación para la Seguridad Vial, sean acordados por una comisión multidisciplinaria. El contenido deberá ser redactado por especialistas en la materia, basados en los objetivos más importantes del aprendizaje de los alumnos.

7.4 Implementación política

Es necesario que las autoridades de gobierno acepten las recomendaciones de la comisión técnica, elegida para elaboración de los proyectos para la educación sobre seguridad vial, e introduzcan políticas que permitan la implementación a nivel nacional y local.

La implementación a nivel local, se debería de hacer por intermedio de los maestros en las escuelas rurales, de la policía, trabajadores de salud, trabajadores de los medios de comunicación, grupos de organización civil, que cuenten con los conocimientos en materia vial.

7.5 Puntos Importantes en la enseñanza de la educación vial

Existen cinco puntos importantes que hay que tener presentes en la enseñanza de la seguridad vial, ya sea a menores o mayores de edad. Se pueden resumir de la siguiente forma:

- Iniciar la educación en edad pre-escolar
- Una educación práctica y teórica
- Seguir los principios de desarrollo del niño
- Promocionar las Señales de Tránsito
- Adecuar un espacio en el horario escolar

7.6 Objetivos del aprendizaje

Basándonos en el principio de que la educación vial, debe iniciar en la edad pre-escolar, existen objetivos genéricos en el aprendizaje. Al tomar en cuenta las necesidades del aprendizaje de los menores como usuarios de las vías, debe considerarse desde la protección total, hasta la independencia. Esto involucra la participación de los padres de familia, encargados y maestros. Los menores, como peatones, usuarios de las vías, deberán de avanzar en los conocimientos de la manera siguiente:

1. Aprender a moverse por las áreas peatonales con la protección total del adulto
2. Aprender el significado y función de las señales de tránsito
3. La importancia de la seguridad vial
4. Toma de decisiones en el entorno vial

7.7 Educación vial empleando los medios de comunicación

La motivación para obedecer las normativas y recomendaciones que rigen el sistema vial utilizando los medios de comunicación es una forma eficiente de educar a los usuarios, con el propósito de reducir los accidentes de tránsito. Existen muchos canales a través de los cuales se hace llegar la información, como por ejemplo; la radio, la televisión, el periódico, etc.,

Como se pudo apreciar en el capítulo uno del presente trabajo de graduación, la principal causa de accidentes viales es el error humano, en donde podemos mencionar que el exceso de velocidad, es el factor mas alto, seguido de la conducción de vehículo en estado de ebriedad y la imprudencia del peatón.

Debido a que es el factor humano la principal causa de este tipo de lamentables hechos, es preciso insistir en la importancia de la educación vial. Una de las formas mas eficaces de influenciar a la población, es el uso de los medios de comunicación, los cuales deben de ser utilizados para educar a los usuarios de las vías.

Una campaña publicitaria destinada a incentivar a la población, para que no conduzca su vehículo cuando se encuentra bajo los efectos de las bebidas alcohólicas. Es conocida la eficiencia en la reducción de accidentes, por este tipo de publicidad, debido al impacto que estos medios realizan en la concientización de los peligros al conducir en esas condiciones.

De la misma forma debe ser utilizada la influencia de los medios de comunicación, para hacer llegar a los usuarios del sistema vial, las sanciones en las cuales irrumpirían al momento de desobedecer el reglamento de tránsito. Haciendo conciencia de la responsabilidad que cada uno tiene al utilizar un medio de transporte terrestre, ayudaría a la reducción del número de accidentes de tránsito, colaborando de esta forma a mejorar el entorno vial, haciéndolo mas seguro y eficiente.

8. PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La actividad de transporte genera un costo social. Los distintos renglones donde pueden desglosarse dicho costo incluye los derivados de los accidentes de tránsito. Este concepto se ha vuelto de orden primario en el país y requiere atención urgente.

En la acción que se ha venido realizando para atender este problema, por parte de las autoridades del estado, por instituciones educativas e instituciones cívicas, así como por diversas personas, se ha realizado de forma dispersa y desordenada. Por tal motivo a continuación se presentan un conjunto de normas que se estima necesario adoptar para reducir al mínimo la magnitud de los accidentes en calles y carreteras. Estas normas son:

8.1 Inspección vehicular en forma periódica y regular

Todos los vehículos deberán ser inspeccionados en periodos regulares que dependen de su uso y condiciones físicas. El período mínimo recomendable es de un año.

La inspección deberá incluir todos aquellos aspectos que pongan en riesgo la operación segura del vehículo. Cuando no se reúnan las condiciones mínimas de seguridad, conviene retirar el vehículo de la circulación, mientras se cumplen esas condiciones.

8.2 Educación del conductor y el peatón

Deberá existir un programa que provea al futuro conductor, y al que ha acumulado cierta experiencia, con la información, conocimientos y práctica convenientes para su comportamiento, en relación con el tránsito de vehículos, resulte el más seguro.

Deberá de existir también un programa de educación vial, oficial, para ser impartido en todas las escuelas del país. Como complemento se debe fomentar la creación del servicio de voluntarios para la protección de cruces en zonas escolares.

Es necesario que la secretaria de Educación Pública, destine el espacio necesario en los libros de texto oficiales, a temas de educación vial.

8.3 Limpieza y control de residuos de accidentes

Deberá establecerse procedimientos adecuados para:

Permitir el acceso inmediato de personas y equipo, encargado del rescate y la remoción de residuos del sitio del accidente, particularmente en vías urbanas rápidas y en aquellos lugares en donde el accidente pudiera ser peligroso para la salud pública o para la seguridad (como el caso de sustancias peligrosas y otros materiales) y en aquellos casos donde se pueda crear situaciones que representen un riesgo para los otros vehículos.

Rescatar cuidadosa y rápidamente a los lesionados en un accidente para evitar un daño posterior o que se agraven los daños.

Advertir y desviar oportunamente a los conductores que se acerca al sitio del accidente.

Retirar de la vía de circulación todos aquellos objetos y materiales que puedan constituir un peligro para la circulación de los vehículos.

Reorganizar rápidamente la condición normal del tránsito de vehículos en la calle, avenida o carretera donde se produjo el accidente.

8. 4 Vigilancia de los sitios detectados como peligrosos para el tránsito

Deberá existir un programa, del tipo de emergencia, dirigido a aplicar las medidas más pertinentes. En primera instancia, en los sitios donde se ha detectado la incidencia de accidentes, mientras se adoptan medidas definitivas con base en un estudio más completo de los datos.

Deberá de existir formas de vigilancia sobre los puntos y zonas que tiendan a convertirse en lugares de incidencia frecuente de accidentes viales.

8.5 Registro de datos e identificación de los sitios de mayor frecuencia de accidentes y sus características relevantes

Deberá existir un procedimiento adecuado que permita la identificación precisa de las características de los accidentes ocurridos, incluyendo sus causas aparentes y las determinadas sobre la base de un análisis pericial. De ser posible, el procedimiento deberá permitir una cuantificación estimada del monto de las pérdidas.

El análisis de los datos almacenados de accidentes de tránsito deberá permitir lo siguiente:

- La obtención de un inventario de accidentes durante periodos fijos.

- Detectar los sitios en donde ocurren con mayor frecuencia los accidentes.

- Identificar las causas técnicas atribuibles al diseño y a las características de operación.

- Evaluar, mediante estudios estadísticos de antes y después, la efectividad de las medidas adoptadas para corregir la situación, en caso que se haya aplicado algunas.

8.6 Evaluación del efecto del alcohol sobre la seguridad en las calles, carreteras

Deberá de existir un programa dirigido a determinar el contenido de alcohol en la sangre de quien incurre, como sujeto objetivo o pasivo, en un accidente de tránsito. Este programa deberá incluir los siguientes aspectos:

- ❑ Determinación, mediante procedimientos químicos, de la concentración de alcohol en conductores o adultos heridos, o que mueran dentro de las cuatro horas posteriores a la del accidente.

- ❑ Especificaciones del nivel máximo tolerable en concentración de alcohol en función del peso de la persona.

8.7. Reglamento de tránsito y su aplicación legal

- ❑ Es necesario procurar, en forma sistemática, la unificación de los reglamentos de tránsito en toda la región del país.

- ❑ La reglamentación correspondiente deberá ser adecuadamente funcional en relación con la situación actual y las características del conductor nacional, sin dejar de considerar la experiencia internacional.

8.8 Servicios policíacos en relación con la operación del tránsito

- Deberá capacitarse y actualizar al personal de la policía en todos los aspectos que se relacionan con la vigilancia del tránsito de vehículos y peatones.

- Deberá emplearse para ello información actualmente disponible y consignada en el material educativo desarrollado en el país y en otras naciones.

- Reconociendo que el primer contacto de la población con el cuerpo administrativo del Gobierno es el servicio policíaco, la capacitación del personal deberá destacar la naturaleza de la función policíaca como actitud de servicio en beneficio del flujo de vehículos y el desplazamiento del peatón.

- La aplicación de esta norma deberá de ir acompañada de registros evaluativos de cada policía de tránsito dirigidos a confirmar el logro de los propósitos de esta norma.

8.9 Diseño, construcción y mantenimiento de calles, avenidas y carreteras

En todas las nuevas construcciones o reconstrucciones, de calles, avenidas y carreteras, deberán observarse todas las normas técnicas de diseño, que representen seguridad en la operación del tránsito y que son : distancia de visibilidad, curvaturas, separación entre los puntos de decisión, anchura de carriles, de aceras y de franjas separadoras, etc.

La iluminación en avenidas, vías urbanas rápidas, pasos a desnivel, etc, deberá diseñarse de modo que se cumpla con las condiciones de visibilidad en todos los puntos donde existan cambios y se evite el deslumbramiento.

Cada vez que se realicen reparaciones o modificaciones en la red urbana o de carreteras, deberá existir un programa que informe al conductor de las desviaciones y su situación, de modo que, lo posible, la operación del tránsito se realice en condiciones semejantes a las previas.

8.10 Dispositivos para el control del tráfico y protección del peatón

Deberá existir un procedimiento de trabajo que permita identificar las necesidades, así como las deficiencias de los dispositivos para el control del tránsito.

El procedimiento, además, deberá permitir el desarrollo del programa para la instalación, renovación o mejora de semáforos y señales de tránsito que contemplen las necesidades presentes y futuras, así como las situaciones de emergencia.

La instalación y el diseño de semáforos y señales deberá ajustarse, en lo posible, a las normas internacionales y deberá procurarse que en la adopción de estas normas exista uniformidad en todo el país lo que podrá lograrse mediante la adopción del Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en calles y carreteras, y el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, 2000, Anexo del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes, 1958.

8. 11 Enseñanza de la ingeniería de tránsito

Se deberá fomentar la incorporación de la materia sobre Ingeniería de Tránsito, como curso obligatorio de la carrera de Ingeniería Civil, en las instituciones de estudios superiores.

También deberá de introducirse esta materia en los cursos de maestría en Urbanismo, en las escuelas de Arquitectura que lo imparten.

Debe continuarse fomentando la creación de nuevos programas de Maestrías en Ingeniería de Tránsito en las universidades.

8. 12 Creación de oficinas o departamentos de ingeniería de tránsito

Deberán crearse oficinas o departamentos de Ingeniería de Tránsito en todas las ciudades importantes del país. Estas dependencias de tipo técnico pueden ser ubicadas en las direcciones de tránsito, o de obras públicas y de planificación, como un medio para garantizar los mejores resultados en el diseño y operación del sistema vial.

Se debe fomentar la participación de los ingenieros de tránsito del país en eventos técnicos de la materia, tanto nacionales como extranjeros. El intercambio de experiencias permitirá una actualización permanente de conocimientos.

CONCLUSIONES

1. Para lograr mejores resultados en la determinación de las causas reales que pudieron provocar un accidente de tránsito, es necesario que sean especialistas en Accidentología Vial, los encargados de dirigir la investigación, ya que son estos los que cuentan con los conocimientos específicos para el estudio de la cadena de sucesos que influyen en un hecho vial.
2. Actualmente en Guatemala, no existe una institución en la cual se instruya a expertos en Accidentología Vial, por lo que los especialistas en Ingeniería de Tránsito, son los que cuentan con los conocimientos que se requieren para la realización de una investigación de este tipo.
3. La recopilación de información verídica, es indispensable para mejorar la calidad en los reportes de Accidentes de Tránsito, ya que los agentes de la Policía Nacional no cuentan con la capacitación adecuada para realizarlos, y es de estos reportes en los que se basa el Instituto Nacional de Estadística para realizar los informes anuales en este tema.
4. El criterio a seguir en la obtención de resultados estadísticos de accidentes de tránsito tiene que ampliarse, pues no son suficientes los que se obtienen en la actualidad, ni se consiguen con ellos suficientes datos que sirvan para favorecer la seguridad vial. Es indispensable un

análisis de todos los casos en las intersecciones y tramos carreteros donde se presenten un gran número de percances, para conocer las verdaderas razones por las que esos puntos son más peligrosos que otros.

5. Según los datos estadísticos obtenidos, las principales causas de los accidentes viales, tanto en áreas urbanas como rurales, son: el exceso de velocidad, conductor en condiciones de ebriedad y la imprudencia del peatón. Por lo anteriormente mencionado se puede observar que es la imprudencia la causa de la mayor cantidad de accidentes.

6. En el Capítulo 1, del presente trabajo, se presenta la incidencia de los accidentes provocados por la falta de mantenimiento en las vías entre los años de 1994 a 1998, siendo más de cuatrocientos los lesionados por esta causa y más de cien las personas fallecidas, ilustrando de esta forma la evidente importancia de este tipo de obras de mantenimiento para conservar las condiciones de seguridad del sistema vial. (Ver Tablas IX y X)

7. Para reducir el número de accidentes de tránsito, es insuficiente un buen diseño geométrico de una vía, sino que también es necesaria una adecuada señalización, con el objeto de mantener informados a los usuarios, tanto de los lugares de destino como de las condiciones en las que se encuentren las calles y carreteras.

8. En horas de la noche y en condiciones de poca visibilidad, como las que provoca la lluvia y la niebla, se hace indispensable para aumentar la sensación de seguridad de conductor, el uso de marcas viales a nivel del pavimento, utilizando materiales reflectores de luz, las cuales sumadas a la señalización vertical, darán la información necesaria para que el conductor transite de la forma más segura bajo estas condiciones.

9. Las condiciones de humedad de una vía, puede ser un factor que incida en la ocurrencia de accidentes viales, no obstante, los datos estadísticos indican que más del ochenta por ciento de los hechos viales, ocurrieron sobre pavimentos en estado seco. Los que indica que es el error humano el mayor causante de estos lamentables hechos.

10. Un buen diseño geométrico, una buena iluminación y la adecuada señalización de las calles y carreteras, son parte fundamental para ofrecer una eficiente seguridad vial. Lamentablemente la solución al problema de los accidentes de tránsito no es tan simple. En todo tipo de desarrollo esta íntimamente ligada la cultura que se logra con la educación de una población, pues bien para lograr una eficiente reducción de este tipo de hechos, es necesario un proyecto que encuadre a la Educación Vial, como la principal arma para combatir este mal, iniciando esta educación en la edad preescolar, y continuando como parte del programa de estudio, para que el alumno conozca desde temprana edad las normas que rigen el sistema vial.

RECOMENDACIONES

1. Se hace necesario la implementación de un Departamento de Ingeniería de Tránsito, el cual deberá funcionar en coordinación con el Departamento de Tránsito de la Policía Nacional Civil y los cuerpos de primeros auxilios, tal como Bomberos Municipales y Voluntarios, ya que son estos los primeros en hacerse presentes en el lugar de los hechos.
2. En el mencionado Departamento de Ingeniería de Tránsito, deberá de funcionar una Sección de Accidentología Vial, que cuente con personal calificado. Dicha sección será la encargada de la determinación de las causas reales de cada accidente de tránsito, recopilando de esta manera los elementos necesarios para mejorar las condiciones de seguridad en los lugares de mayor incidencia de hechos viales.
3. Para los expertos en Accidentología Vial, la preservación del área en la cual ocurrió un hecho de tránsito, es de vital importancia, ya que esta, representa el escenario donde se podrán encontrar los indicios que ayuden a determinar las posibles causas que provocaron el accidente. Por este motivo, el instruir a los agentes de la policía en los métodos y técnicas para protegerla, es esencial.

4. Es necesario realizar un análisis completo de la red vial nacional, detectando los puntos de mayor conflicto en una arteria, ya que es de este modo, que se deben de plantear las medidas enfocadas a la mitigación de estos incidentes. Con el conocimiento del comportamiento de los usuarios en la red vial nacional, se podrán mejorar en aquellos aspectos del diseño geométrico que no estén siendo eficientes para lograr la seguridad en las vías.

5. El buen diseño geométrico de las carreteras, es de suma importancia para la seguridad vial, por esto los proyectos de este tipo deberá ser ejecutados por personas altamente calificadas, asegurando la calidad en la ejecución de estos. La supervisión de estos proyectos, deberán estar encaminados a que se cumpla con las especificaciones, en cuanto a la calidad de los materiales empleados y al cumplimiento de la especificaciones técnicas previamente aprobadas.

6. Como parte alterna al programa de educación se deben utilizar todos los medios de comunicación para influenciar a la población de los peligros que se encuentran en el entorno vial y de las responsabilidades al hacer uso del calles y carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

1. ***A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*** American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO 1994.
2. **Manual Centroamericano Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras**, Secretaría de Integración Económica de Centro América, S.I.E.C.A, 1999.
3. **Manual Centroamericano Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, 1999**, Anexo del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes, 1958.
4. **Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras**, Secretaría de Obras Públicas México, 1991.
5. **Manual de Criminalística**, Raúl Enrique Zajackowski, Buenos Aires, Argentina, 1998.
6. **Instituto Nacional de Estadística**, Estadística sobre Accidentes de Tránsito”, Guatemala, 1998.
7. **Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones**, Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas, 7a. Edición, 1995.

