

# INGENIERÍA

## CIVIL Y CONSTRUCCIÓN

---

**Recursos en Ingeniería, Arquitectura, Construcción y Afines**

Libros, Plantillas en Excel, Revit, Civil 3D, Autocad y más

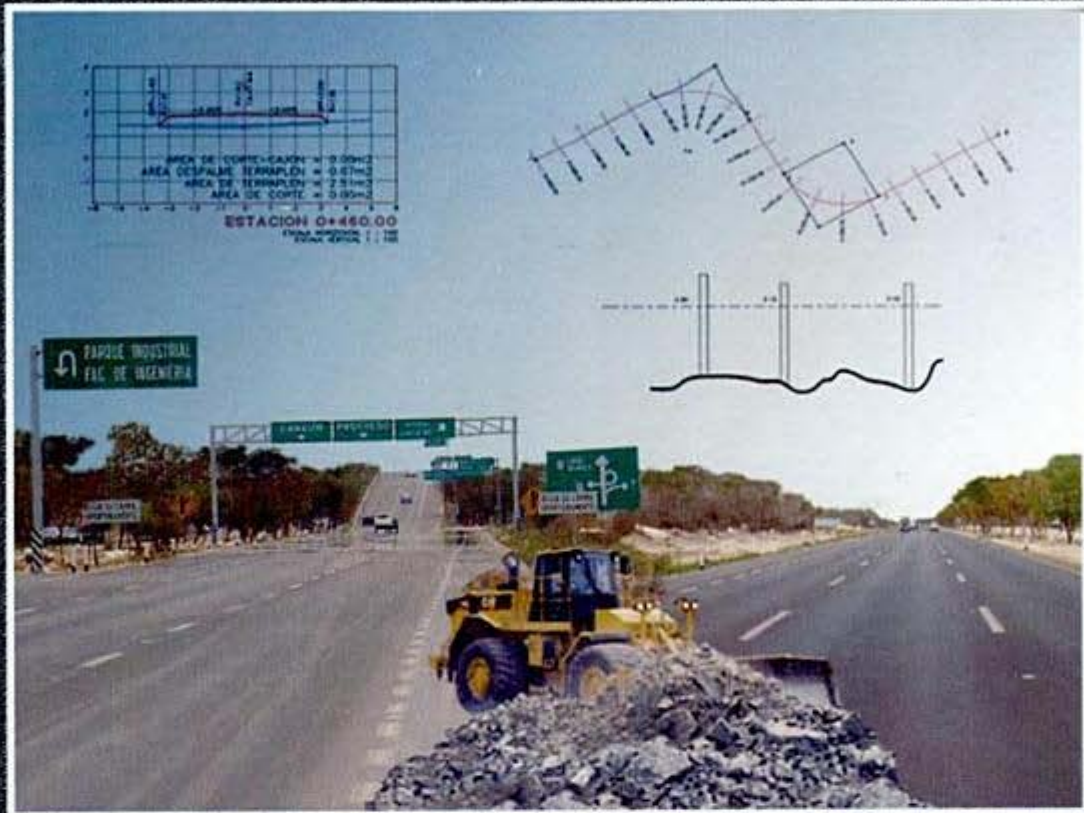
---

[Clic aqui para ir al sitio web](#)

[Explore nuestra Tienda](#)



[Canal de WhatsApp \(Convenio Institucional\)](#)



# CARRETERAS

Lauro Ariel Alonzo Salomón  
Gabriel J. Rodríguez Rufino

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE YUCATÁN, 2005

Prohibida la reproducción  
total o parcial de la obra sin permiso  
escrito del editor.

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO  
Coordinación General de Extensión  
Departamento Editorial  
Calle 61 núm. 526 entre 66 y 68  
Tel. (999) 924-72-60  
Fax (999) 923-97-69  
Mérida, Yucatán, México

Impreso en Mérida, México  
Printed in Merida, Mexico

ISBN 968-6843-88-4 (Serie)  
ISBN 970-698-093-8 (v. 8)

TE      Rodríguez Rufino, Gabriel Juan de la Concepción.  
145      Carreteras / Gabriel Rodríguez Rufino, Lauro  
.R63      Ariel Alonzo Salomón, c2005.  
2005

(Textos didácticos / UADY ; v. 8)

1. Carreteras. 2. Diseño de carreteras. 3. -  
Construcción de carreteras. 4. Ingeniería del  
tránsito. I. Alonzo Salomón, Lauro Ariel. II. t.  
ISBN 968-6843-88-4 (Serie)  
ISBN 970-698-093-8 (v. 8)

Lib-UADY



## CONTENIDO

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PRESENTACIÓN</b>                                        | <b>13</b> |
| <b>UNIDAD 1</b>                                            |           |
| <b>ELEMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO</b>                 | <b>15</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                        | <b>15</b> |
| Estudios de Ingeniería de Tránsito                         | 18        |
| <b>EL USUARIO</b>                                          | <b>21</b> |
| Factores que afectan el comportamiento del usuario         | 21        |
| El conductor                                               | 22        |
| El peatón                                                  | 29        |
| <b>EL VEHÍCULO</b>                                         | <b>30</b> |
| Factores de diseño y proyecto relacionados con el vehículo | 30        |
| <b>EL CAMINO</b>                                           | <b>35</b> |
| Factores de diseño y proyecto relacionados con el camino   | 35        |
| <b>UNIDAD 2</b>                                            |           |
| <b>ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO</b>                  | <b>59</b> |
| <b>ESTUDIOS DE VOLUMENES DE TRÁNSITO</b>                   | <b>59</b> |
| Definición de términos                                     | 59        |
| Métodos de aforo                                           | 62        |
| Estudios específicos                                       | 67        |
| <b>ESTUDIOS DE LA VELOCIDAD<br/>Y TIEMPOS DE RECORRIDO</b> | <b>68</b> |
| Diferentes tipos de estudios                               | 68        |

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO</b>                                          | <b>74</b>  |
| Equipo y propósito                                                          | 74         |
| Métodos                                                                     | 74         |
| <br><b>UNIDAD 3</b>                                                         |            |
| <b>DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO</b>                            | <b>81</b>  |
| INTRODUCCIÓN                                                                | 81         |
| <b>SEÑALES PREVENTIVAS</b>                                                  | <b>83</b>  |
| <b>SEÑALES RESTRICATIVAS</b>                                                | <b>85</b>  |
| SEÑALES INFORMATIVAS                                                        | 86         |
| SEÑALES PARA PROTECCIÓN EN OBRAS                                            | 89         |
| <b>MARCAS</b>                                                               | <b>90</b>  |
| SEÑALIZACIÓN VERTICAL                                                       | 94         |
| SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL                                                     | 95         |
| SEMÁFOROS                                                                   | 97         |
| <br><b>UNIDAD 4</b>                                                         |            |
| <b>CAPACIDAD VIAL</b>                                                       | <b>103</b> |
| INTRODUCCIÓN                                                                | 103        |
| Caminos.                                                                    | 105        |
| Autopistas                                                                  | 106        |
| Arterias urbanas                                                            | 109        |
| <b>ANÁLISIS Y EJEMPLO DE APLICACIÓN<br/>PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES</b> | <b>111</b> |
| <br><b>UNIDAD 5</b>                                                         |            |
| <b>ESTACIONAMIENTOS</b>                                                     | <b>127</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                         | <b>127</b> |
| <b>VÍA PÚBLICA</b>                                                          | <b>127</b> |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Dentro de la vía pública                                      | 129 |
| Fuera de la vía pública                                       | 131 |
| CENTRAL DE AUTOBUSES Y DE CARGA                               | 137 |
| VEHÍCULOS PARTICULARES                                        | 140 |
| <br>UNIDAD 6                                                  |     |
| PROYECTO GEOMÉTRICO DE UN CAMINO                              | 143 |
| INTRODUCCIÓN                                                  | 143 |
| Antecedentes históricos                                       | 143 |
| Red carretera del estado de Yucatán                           | 144 |
| Estudios para el proyecto de un camino                        | 148 |
| Clasificación de los caminos                                  | 150 |
| Tipos de caminos de acuerdo<br>con su utilidad socioeconómica | 150 |
| ALINEAMIENTO HORIZONTAL                                       | 154 |
| Trazo planimétrico del camino                                 | 154 |
| Trazo preliminar de una línea                                 | 155 |
| Estabilidad en curvas                                         | 160 |
| El vehículo de diseño                                         | 164 |
| Curvas horizontales                                           | 171 |
| Curvas espirales para caminos                                 | 195 |
| Orientación astronómica                                       | 210 |
| ALINEAMIENTO VERTICAL                                         | 216 |
| Nivelación de una vía                                         | 216 |
| Proyecto de subrasante                                        | 221 |
| Curvas verticales                                             | 223 |
| Secciones transversales y de construcción                     | 232 |
| MOVIMIENTOS DE TIERRA (CURVA – MASA)                          | 237 |
| Estudio de volúmenes                                          | 237 |
| El Diagrama de Curva Masa                                     | 239 |

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| Propiedades de la curva masa                          | 251        |
| Reportes y planos de un proyecto carretero            | 257        |
| <b>INTERSECCIONES</b>                                 | <b>260</b> |
| Introducción                                          | 260        |
| A nivel                                               | 263        |
| A desnivel                                            | 263        |
| <b>UNIDAD 7</b>                                       |            |
| <b>MAQUINARIA PESADA</b>                              | <b>267</b> |
| <b>SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN</b>                      | <b>267</b> |
| Factores de selección:                                | 267        |
| Nomenclatura.                                         | 270        |
| <b>RENDIMIENTOS Y COSTOS</b>                          | <b>272</b> |
| Tractores                                             | 272        |
| Cargadores frontales                                  | 282        |
| <b>MANTENIMIENTO</b>                                  | <b>287</b> |
| Tipos de mantenimiento                                | 287        |
| Mantenimiento preventivo                              | 288        |
| Mantenimiento predictivo                              | 288        |
| Mantenimiento correctivo                              | 288        |
| Mantenimiento especial por conjunto o por componentes | 288        |
| Vida económica (Ve)                                   | 288        |
| Factores que afectan los costos:                      | 290        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                     | <b>291</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                   | <b>293</b> |

## PRESENTACIÓN

Todos aquellos profesionales que han tenido el privilegio de haberse formado en la disciplina de la ingeniería civil pueden dar constancia en su justa dimensión del significado de adaptarse, dominar y convertir los recursos que la naturaleza ofrece, en bienes de provecho puestos al servicio del hombre para su desarrollo, evolución y comodidad.

Del mismo modo, quienes conocen las obras civiles identificadas como vías terrestres, en cuyo rubro se ubica la planeación, diseño y construcción de caminos y carreteras, pueden expresar con pleno conocimiento de causa, que en este tipo de obras es donde esa adaptación a la naturaleza y la lucha contra sus leyes es una realidad en el diario quehacer del ingeniero. En estas obras se enfrenta a las irregularidades del terreno, las inclemencias del tiempo y al uso y manejo de las propiedades del suelo en condiciones naturales, para poder ofrecer al usuario el confort, la seguridad y la funcionalidad con la que debe contar una vía de comunicación terrestre, sin perder de vista la preservación del ambiente y el aspecto organizativo y económico.

En la elaboración del presente trabajo se ha empleado mucho tiempo y dedicación, pero hacerlo ha valido la pena no solamente por el objetivo de la misma, que es el de servir como herramienta para la enseñanza, sino porque se ha deseado presentar un panorama completo y exhaustivo del tema, con la minuciosidad y el detalle que se requiere para su comprensión y aprendizaje. Consideramos que en esta obra se ha conseguido.

*Ing. Jorge I. Pacheco M.*

*Coordinador del Cuerpo Académico de Geotecnia y Vías Terrestres*



## ELEMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

### INTRODUCCIÓN

La palabra carretera se puede definir de diversas formas. Así, podemos entender que es un: "camino público, ancho y pavimentado dispuesto para el paso de vehículos"<sup>1</sup>, o que es una "vía de comunicación entre poblados, debidamente acondicionada y asfaltada, destinada a la circulación de vehículos"<sup>2</sup>, o tal vez una "vía de comunicación que por lo general mantiene la autoridad gubernamental para el paso de vehículos, personas o animales."<sup>3</sup>; pero sin duda una carretera es una obra de infraestructura que contribuye al desarrollo y progreso de la nación o pueblo que la proyecta y construye.

Por necesidad, los primeros caminos fueron vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimento; cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista (en América, y en México en particular, hubo este tipo de caminos durante el florecimiento de las civilizaciones prehispánicas). Con la invención de la rueda, apareció la carreta jalada por personas o por bestias y fue necesario acondicionar los caminos para que el tránsito se desarrollara lo más "rápido" y "cómodo posible"<sup>4</sup>.

"La construcción de carreteras ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada. Cuando las ciudades de las primeras civilizacio-

nes empezaron a aumentar de tamaño y densidad de población, la comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores. Entre los primeros constructores de carreteras se encuentran los mesopotámicos, hacia el año 3,500 a.C.; los chinos, que construyeron la Ruta de la Seda (la más larga del mundo) durante 2,000 años, y desarrollaron un sistema de carreteras en torno al siglo XI a.C., y los incas de Sudamérica, que construyeron una avanzada red de carreteras por todos los Andes que incluía galerías cortadas en rocas sólidas. En el siglo I, el geógrafo griego Estrabón registró un sistema de carreteras que partían de la antigua Babilonia; los escritos de Heródoto, historiador griego del siglo V a.C., mencionan las vías construidas en Egipto para transportar los materiales con los que construyeron las pirámides y otras estructuras monumentales levantadas por los faraones<sup>5</sup>.

En Mesoamérica la civilización maya también destacó en la construcción de caminos con las denominadas vías de comunicación llamadas "sacbes", como se ilustra en la figura 1.

"De las carreteras antiguas, aún existen las que fueron construidas por los romanos. La vía Apia empezó a construirse alrededor del 312 a.C., y la vía Faminia hacia el 220 a.C. En la cumbre de su poder, el Imperio Romano tenía un sistema de carreteras de unos 80,000 km consistentes en 29 calzadas que partían de la ciudad de Roma, y una red que cubría todas las provincias conquistadas importantes, inclusive Gran Bretaña<sup>6</sup>.

"La carreta fue introducida en América durante el siglo XVI por el español Sebastián de Aparicio. Él construyó la primera carretera del Nuevo Mundo, entre México y Veracruz, aproximadamente entre 1540 y 1550. Más tarde construyó la carretera México-Zacatecas. El siglo XVIII marca la iniciación de la Era Moderna. El tránsito se incrementa con grandes esfuerzos, debido al mal estado de los caminos. A su desa-

rollo contribuye enormemente la introducción del cobro de cuotas de peaje, que permiten la construcción y conservación de estos caminos"<sup>7</sup>. "El siglo XIX se inicia con un incremento inusitado de la población y la época de oro" de las diligencias (1800-1830). También, desde principios del siglo, empieza a experimentarse con vehículos de autopropulsión, utilizando la fuerza del vapor. El ferrocarril de vapor inicia servicios comerciales en Inglaterra entre 1825 y 1830. A través de los siglos se ha podido observar la evolución que ha tenido el tránsito a medida que también evolucionan tanto el camino como el vehículo"<sup>8</sup>.

"En México, cuando se estabilizaron los gobiernos revolucionarios en 1925, ya el automóvil estaba considerablemente desarrollado; pero nuestro país no había podido transformar sus caminos de herradura ni sus caminos de carretas para las nuevas velocidades de los automóviles de pasajeros, o para las nuevas capacidades de carga de los camiones. Urgían los modernos caminos y también urgía establecer comunicación, primero entre la capital de la República con los puertos marítimos y fronterizos, con las capitales de los Estados y entre éstas mismas. Sin estas comunicaciones no podía pensarse en el desarrollo económico y social, ni en los aspectos políticos que los gobiernos provenientes de la Revolución contemplaban. Estos caminos requerían, por su importancia, especificaciones que satisficieran un probable tránsito intenso; es decir, nacían las arterias de la red vial y no había tiempo ni se contaba con posibilidad económica para pensar en caminos secundarios"<sup>9</sup>.

"Por lo anterior, el vehículo es el principal elemento que debe ser tomado en cuenta al proyectar las vialidades y servicios complementarios. Esta fue una circunstancia especial de México, diferente con seguridad de lo que en otros países sucedió y fue la razón, desafortunada por cierto, para que durante muchos años se contara con una red caminera casi exclusiva de caminos troncales, carentes de ramales, de caminos

alimentadores, que al no crear una conveniente zona de influencia, hicieron que desde el punto de vista de la inversión, no se apreciara todo el potencial del desarrollo"<sup>10</sup>.

Figura 1.1

Algunos viejos "caminos blancos" (Sacbé) de los mayas, reacondicionados, están sirviendo ahora como caminos alimentadores. (Fuente: *Caminos alimentadores*, René Etcharren G.)



Sin embargo, con el paso de los años y con trabajo y esfuerzo en el área de los caminos y las comunicaciones, México fue prosperando hasta llegar a tener la red de carreteras.

### Estudios de Ingeniería de Tránsito

La ingeniería de tránsito ha sido definida como "la rama de la ingeniería relacionada con la planeación, proyecto geométrico y operación

vehicular de calles y carreteras, terminales, colindancias y correspondencias con otros modos de transporte, con el fin de lograr la seguridad, eficiencia y movimiento adecuado de personas y cosas".

Trata no sólo con problemas que dependen de factores físicos o técnicos, sino también con aquellos en que frecuentemente se presenta el comportamiento de los conductores de vehículos y peatones. Por tal motivo el ingeniero de tránsito será el receptor de los deseos lógicos del usuario, con lo que podrá hacer un análisis que permita evaluar los beneficios que reportará a la colectividad determinada obra o mejora.

*a) Características del tránsito.* En ellas se encuentran todos los métodos existentes que tienden a la determinación de las características del flujo vehicular, de los conductores, de los peatones y del vehículo.

Se incluyen como las más comunes:

- El conductor
- El vehículo
- Velocidad, tiempos de recorrido y demoras
- Volúmenes de tránsito
- Origen y destino
- Capacidad
- Estacionamiento
- Accidentes
- Transporte público

*b) Operación del tránsito.* En este renglón se incluyen todas las medidas de regulación: las leyes y ordenanzas para el conductor, el vehículo, el peatón y la operación del tránsito. En esta última se abarcan, entre los aspectos más importantes, el control de intersecciones, zonifica-



ción de velocidades, calles de un solo sentido de circulación y control de estacionamiento.

Antes de adoptar cualquier medida regulatoria, será necesario realizar las investigaciones y análisis pertinentes de las características imperantes, y las ventajas y desventajas que reportará la implementación de una medida determinada.

- c) Planeación.* Esta fase comprende la planeación de nuevas construcciones y el mejoramiento de las existentes, con el fin de satisfacer una necesidad producida por la falta de seguridad y eficiencia. Debe existir una frecuente comunicación con el urbanista o el planificador, para alcanzar los objetivos que requiere toda la planeación.
- d) Proyecto geométrico.* Se incluyen, entre los más importantes aspectos, el diseño de arterias urbanas, carreteras, proyecto de intersecciones, estacionamiento y ampliación o mejoramiento de las facilidades existentes.
- e) Administración.* Se debe de tener conocimientos generales de administración y derecho, con el fin de interpretar y hacer cumplir los reglamentos de tránsito.
- f) Pasos a seguir en todo proyecto de transportes*
  - Identificación del problema (antecedentes).
  - Recopilación de la información necesaria según el tipo de problema de que se trate, como número de accidentes, tipo de ellos, tiempos de recorrido, etc.
- g) Análisis de información*
- h) Proposición de alternativas de solución.*
- i) Selección de alternativas de solución conforme a las ventajas o desventajas técnicas, de operación y económicas que presentan cada una de ellas.*
- j) Conclusiones y recomendaciones.*

## EL USUARIO

Debe entenderse por usuarios a todos aquellos que hacen uso de las facilidades proporcionadas por la ingeniería de tránsito y de transportes: son el conductor y el peatón.

Debido a la importancia de los usuarios en el flujo vehicular, hay que tomar en cuenta las limitaciones y el comportamiento de los mismos en la elaboración de cualquier proyecto de ingeniería de tránsito y de transporte. Todos los proyectos o leyes que se realicen con el fin de ordenar el tránsito deben reflejar el deseo de la colectividad con el fin de evitar la desobediencia y que ésta resulte fatal.

Con el fin de estudiar la naturaleza humana del usuario, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

### Factores que afectan el comportamiento del usuario

*Condiciones del medio ambiente:* El comportamiento de una persona se podrá ver afectada, de alguna forma por los siguientes tipos de condiciones de su medio ambiente:

- El suelo.
- Las condiciones atmosféricas.
- Los elementos fijos de tránsito.
- La corriente de tránsito y sus características.

### *Factores sociológicos:*

- Motivación.
- Inteligencia.
- Proceso de aprendizaje.
- Factores emocionales.
- Grado de atención.

- Actitud hacia la regulación.
- Impaciencia o mal carácter.
- Madurez.
- Condicionamientos.
- Diferencias individuales.

#### *Factores físicos:*

- Visión.
- Agudeza visual.
- Movimiento del ojo.
- Profundidad de percepción.
- Atención visual.
- Sensibilidad visual al color.
- Visión en condiciones de deslumbramiento.
- Deterioro visual.
- Audición.
- Sensaciones de estabilidad.

#### **El conductor**

Los accidentes de tránsito son provocados, en su generalidad, por deficiencias del elemento humano. Sin embargo, éstas pueden ser superadas si el individuo guarda una mayor precaución.

Un entrenamiento del desempeño del conductor es esencial para el diseño y la operación adecuada de las carreteras. Un diseño adecuado depende tanto de que la carretera que es usada sea segura como eficiente. Cuando un criterio no es compatible con las características del conductor, las posibilidades de que cometa un error aumentan, y como resultado ocurren accidentes o una mala utilización de la carretera.

### *1) La tarea de conducir*

La tarea de conducir un vehículo depende de la información que el conductor recibe y de la manera en la cual ésta es utilizada. Cuando se recibe alguna información de la carretera, ésta se compara con la que ya se cuenta, y el conductor toma una decisión y ejecuta una acción de control sobre el vehículo. El proceso de conducir entrelaza un número de actividades que están interrelacionadas, y cuando éstas se agrupan según el desempeño, se clasifican en actividades de control, de guía y de navegación.

Las maniobras simples y el control de la velocidad están en extremo bajo de la escala (actividades de control); el seguimiento del camino y el mantener una travesía segura como respuesta a las condiciones del camino y del tráfico están a un nivel medio (actividades de guiamento); la planeación del viaje y el recorrido de la ruta se encuentran al extremo alto de la escala (investigación). Los puntos anteriores están ordenados de acuerdo con la complejidad de ejecución y la importancia para la seguridad.

La tarea de conducir puede ser compleja y demandante. Varias actividades individuales que requieren un manejo suave y eficiente, así como la integración de la información, pueden ser ejecutadas simultáneamente; la conducción de vehículos a menudo ocurre a altas velocidades, durante presiones de tiempo, en sitios desconocidos y bajo condiciones ambientales adversas; otras veces la tarea de conducir puede ser tan sencilla y poco demandante que el conductor se desatiende.

Los errores del conducir ocurren porque el conductor no sabe qué es lo que se le requiere y porque algunas situaciones demandan demasiadas tareas o causan desatención o confusión: mal diseño de la carretera, mal o inconsistente uso de dispositivos de control, y mala exhibición de la información de la señalización.

Los errores también son causados por presiones de tiempo, la complejidad de las decisiones o por demasiada información.

Los errores de control del vehículo y seguimiento de la vía pueden contribuir directamente a la causa de los accidentes. Errores de navegación resultan en retrasos y contribuyen a una operación ineficiente y pudieran causar indirectamente un accidente.

## ***2) La tarea de guiar***

El diseño de las carreteras y operaciones de tráfico son aspectos que más afectan al conductor en su tarea de guiar. Las decisiones que toma el conductor (juicios de maniobra y de control de velocidad) para manejar sobre un carril y de seguir cierto camino son básicas para la dirección de vehículos. Cuando el conductor sigue el alineamiento y el peralte de carril y se adapta a las condiciones ambientales del camino, se dice que utiliza el proceso de retroalimentación. Las decisiones que el conductor toma cuando sigue a otro vehículo son muy complejas, esto se debe a que estas actividades involucran un control de velocidad.

Las decisiones de rebasar a un vehículo que requieren de un cambio de carril y un control de velocidad son aún más complejos, debido a que hay que conocer la velocidad y la aceleración en que se está viajando, la propia y la del vehículo a rebasar, al igual que la distancia entre ambos. Otras actividades de tareas de guiar incluyen: la integración al tránsito, cambios de carril, esquivar peatones y reacciones a dispositivos de control de tránsito y de señales.

## ***3) El sistema de información***

Las fuentes formales de información son los dispositivos de control que están específicamente diseñados para exhibir información, como las señales. Las fuentes informales de información incluyen



elementos como características de diseño, juntas de pavimento, etcétera. Toda esa información es necesaria para que la tarea de guiar se realice de forma segura y eficiente.

Los dispositivos de control de tránsito proveen información para asistir en las tareas de dirección y navegación. Entre otras cosas, éstos proporcionan información sobre regulaciones de tránsito, alertan sobre zonas de precaución y asisten al conductor a seguir sobre la ruta. Las marcas o líneas sobre el pavimento exhiben información adicional que resalta las características del camino y del ambiente alrededor. La selección de la velocidad y el rumbo a tomar depende de la habilidad del conductor en observar el camino y sus condiciones. Los conductores deben mirar al frente del camino y ver lo suficientemente lejos para predecir el alineamiento, la pendiente y el ancho de la carretera, así como otros aspectos relacionados. La vista hacia el camino también incluye el ambiente circundante. Los peligros y los obstáculos, como lo son hombres, señales, pilares de puentes, barreras laterales, divisiones centrales, etcétera, deben de ser claramente visibles.

Los conductores utilizan sus sentidos para obtener información. Se detectan cambios en el comportamiento del vehículo, es decir, se siente la textura de la superficie del camino a través de las vibraciones en el volante, se escuchan sirenas de vehículos de emergencia y se reacciona observando el alineamiento. Sin embargo, la mayoría de la información que se recibe es de forma visual.

Durante la ejecución de las tareas de conducir, se realizan varias funciones casi simultáneamente; se ven fuentes de información, se toman numerosas decisiones y se realizan acciones. La información necesaria debe estar en la zona visual, disponible donde sea necesaria, debe ser práctica y capaz de atraer la atención del conductor.

#### *4) Error del conductor*

Generalmente, accidentes y operaciones ineficientes ocurren cuando los conductores cometen errores de información en lugares donde el diseño es deficiente. Varios de los errores son causados por deficiencias en la capacidad del conductor o por situaciones temporales que, aunado a un mal diseño, producen una falla. A continuación se enlistan algunas de las deficiencias en la capacidad de un conductor:

- Inexperiencia o falta de práctica; contribuye a la inhabilidad para manejar ciertas situaciones.
- Tomar riesgos inapropiados; llevan a errores de espaciamientos.
- Recuperación pobre de deslumbramientos o encandilamientos; se puede tener una mala interpretación en la información.
- Los efectos de fatiga causada por la privación del sueño; contribuyen a la causa de accidentes.

Por lo general, no es posible que el diseño o procedimiento operacional de una carretera reduzca los errores ocasionados por las deficiencias de los conductores. Los errores a menudo se cometen cuando se tienen que realizar diversas tareas complejas y bajo presiones de tiempo. Esto generalmente ocurre en puntos de decisión que están muy cerca unos de otros, un uso intensivo del terreno, diseño complejo y mucho tráfico.

En lugares con situaciones opuestas a la anterior, puede ocurrir otro tipo de errores, debido a que el procesamiento de información de los conductores está a muy bajo nivel, lo que provoca que éstos se relajen y se estén atentos.

Los diseños deben tomar en cuenta los tiempos de reacción de los conductores, ya que sus respuestas varían y cuando las decisiones a tomar son muy complejas se tardan más en reaccionar. Las expectativas reforzadas y prevalentes ayudan a los conductores a responder más rápido y correctamente.

## CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR

### *Certeza visual*

Se refiere a la mayor o menor claridad de visibilidad y depende de una variedad de factores. La certeza visual es importante en el diseño de dispositivo de control de tránsito. La medida estándar de la certeza visual es la tabla de Snellen de certeza visual, en la cual se presenta una tabla con letras de varios tamaños que se lee a una distancia de 20 pies. La línea de la tabla en la que un individuo puede leer con no más de un error se relaciona con la distancia en que una persona normal puede leer la misma tabla. En la mayoría de los Estados, una licencia de manejo se puede obtener con una certeza visual hasta de 20/40 sin que se requiera uso de anteojos y hasta 20/100 con uso de anteojos una corrección máxima.

La certeza visual mayor se encuentra dentro de un ángulo de 3 a 5 grados. Sin embargo, a ángulos de 10 a 12 grados aún es posible advertir con claridad los objetos que se encuentran dentro de ese campo. También se debe incluir en todo proyecto la certeza visual dinámica, que es la habilidad para ver y percibir estímulos dentro de un campo en movimiento; la percepción profunda, la visión nocturna y la recuperación del deslumbramiento.

### *Visión periférica*

Se refiere al campo de visión del individuo, dentro del cual se pueden percibir objetos, sin precisión de detalle o color. Este varía entre 120° y 180°, la mayoría de las personas tiene un campo de visión periférica de 120° a 160°; sin embargo, el cono de visión satisfactoria es de sólo 20° de ancho.

El "cono de visión clara" se define como aquellos objetos que están enfocados y se pueden interpretar de inmediato; este suele ser de 10° de ancho, en el cual los semáforos y las señales de alto deben ser colocados.

El cono es ligeramente más ancho horizontalmente, debido a que los ojos están uno al lado del otro.

### *Memoria*

Los conductores tienen un amplio rango de habilidad para recordar. La memoria es la clave para el almacenamiento de información por lo cual está muy relacionada con los métodos de control de tráfico. Los ingenieros que estudian los factores humanos clasifican la memoria en tres grupos:

- Memoria de corta duración (de 1 a 5 segundos); un número de 2 a 8 dígitos, ver en el espejo retrovisor, etcétera.
- Memoria de duración intermedia (de 1 a 2 minutos); esperando a oír el reporte del clima, área de descanso adelante (2 millas), señales de previa advertencia, entre otros.
- Memoria de larga duración (de meses a años); experiencia previa, condiciones peligrosas de tráfico, etcétera.

La memoria es muy importante por las siguientes razones:

- Si el mensaje de una señal está muy lejos del punto de acción, éste puede ser olvidado.
- Si el mensaje es muy complejo, puede ser recordado incorrectamente u olvidado.
- Si una información fue incorrecta o engañosa, los conductores pueden ignorarla cada vez que vean algo similar.
- Los dispositivos de control deben estar colocados de manera consistente y en una secuencia apropiada, para que refuercen la memoria del conductor.

### *Tiempo de percepción-reacción*

Un conductor tiene que tomar decisiones, tal como detenerse rápida e inesperadamente. Por algún motivo, el conductor toma tiempo en pro-

cesar la información dada y en tomar la acción adecuada. A esto se llama "tiempo de percepción y de reacción del conductor", generalmente varía entre 1.0 y 2.5 segundos.

### *Profundidad de la percepción*

La visión está relacionada con la habilidad para estimar distancias y velocidades. Permite establecer las distancias de visibilidad de rebase y de frenado.

### *Color*

Este factor no es muy importante en el manejo debido a que el daltonismo puede ser compensado mediante el aprendizaje de otros medios de reconocimiento de señales y semáforos. Por eso es muy importante la estandarización de la forma y tamaño de las señales.

### *Audición*

La carencia de esta característica no es fundamental, ya que puede ser superada mediante aditamentos especiales, aunque es necesario suplirla.

### **El peatón**

Se puede considerar como peatón a la población en general, desde personas de un año hasta cien años de edad. Es importante estudiar al peatón porque no solamente es víctima de accidentes, sino también una de las causas. Muchos de los accidentes sufridos por peatones ocurren porque no cruzar en las zonas marcadas para ellos.

El peatón no se ha adaptado totalmente al vehículo automotor, esto se hace evidente cuando personas de provincia llegan a la ciudad; están indecisos en los cruces esperando el momento oportuno, sin saber de qué lugar vienen los vehículos y repentinamente tratan de cruzar co-

riendo. Consideración especial debe tener los peatones con limitaciones físicas si se pudiera prever el volumen de peatones que va a tener cierta sección de la ciudad, se partiría de esta base para proyectar el ancho de las aceras; también se pueden medir las deficiencias de las actuales aceras.

## EL VEHÍCULO

### Factores de diseño y proyecto relacionados con el vehículo

El vehículo es el principal elemento que debe ser tomado en cuenta al proyectar las vialidades y servicios complementarios para la demanda vehicular que existirá; el término de la vida útil de éstas y las características de cada uno de los vehículos, redundará en una operación balanceada oferta-demanda. A continuación se presenta en la figura No. 1.2, una clasificación general de vehículos que sirven como base para un determinado proyecto.

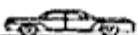
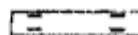
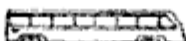
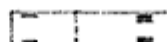
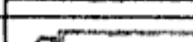
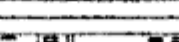
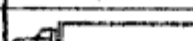
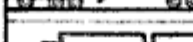
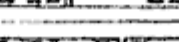
#### *Propósito y tipo*

Los vehículos tienen una amplia variación tanto en forma como en características y propósitos para los que fueron diseñados, tal como se ilustra en la tabla No. 1.1. Sin embargo, es necesario estandarizar los vehículos en tipos para considerarlos como vehículos de proyecto. Un vehículo de proyecto es un vehículo de motor seleccionado de un determinado tipo, cuyo peso, dimensiones y características de operación son usados para establecer los controles de diseño de las calles y carreteras para dar acomodo a éstos.

Las dimensiones y radios de giro de un vehículo de proyecto determinado son los controles que establecen los radios y anchura en las



Figura No. 1.2  
Clasificación general de vehículos.

| TIPO DE VEHICULO          |                      | NUM. DE EJES                      | E S Q U E M A S                                                                     |                                                                                     | SIMBOLO                                                                           | PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES |                 | PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS |    |       |   |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----|-------|---|
|                           |                      |                                   | PERFIL                                                                              | PLANTA                                                                              |                                                                                   |                                          |                 |                                           |    |       |   |
| VEHICULOS LIGEROS         | AUTOMOVILES          | 2                                 |    |    | Ap                                                                                | —                                        |                 | 46                                        | 58 |       |   |
|                           | CAMONETAS            |                                   |    |    | Ac                                                                                |                                          |                 | 12                                        |    |       |   |
| VEHICULOS PESADOS         | AUTOBUSES            | 2                                 |    |    | B                                                                                 | —                                        |                 | 12                                        | 42 |       |   |
|                           | CAMIONES             | 2                                 |    |    | C2                                                                                | 73                                       | 100             | 30                                        |    |       |   |
|                           |                      | 3                                 |    |    | C3                                                                                | 13                                       |                 |                                           |    |       |   |
|                           |                      |                                   |    |    | T2-S1                                                                             |                                          |                 |                                           |    |       |   |
|                           |                      |                                   | 4                                                                                   |    |  |                                          |                 |                                           |    | T2-S2 | 7 |
|                           |                      | 5                                 |   |   | T3-S2                                                                             | 7                                        |                 |                                           |    |       |   |
|                           |                      |                                   |  |  | T2-S1-R2                                                                          |                                          |                 |                                           |    |       |   |
|                           |                      |                                   |                                                                                     | O T R A S   C O M B I N A C I O N E S                                               |                                                                                   |                                          |                 |                                           |    |       |   |
|                           | VEHICULOS ESPECIALES | CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES | V A R I A B L E                                                                     |                                                                                     |                                                                                   | En<br>n = variable                       | V A R I A B L E |                                           |    |       |   |
|                           |                      | MAQUINARIA AGRICOLA               |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                          |                 |                                           |    |       |   |
| BICICLETAS Y MOTOCICLETAS |                      |                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                          |                 |                                           |    |       |   |
| OTROS                     |                      |                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                          |                 |                                           |    |       |   |
|                           |                      |                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                          |                 |                                           |    |       |   |

intersecciones. En las arterias urbanas existe todo tipo de vehículos y es necesario fijar la frecuencia de ellos en las diferentes arterias; o para que las diversas intersecciones que son usadas para vueltas, tengan las características geométricas adecuadas para los vehículos que las circulan.

La selección del vehículo de proyecto dependerá de la cantidad de vehículos que realicen la maniobra en estudio, pero básicamente podrán fundamentarse en lo siguiente:

*Autopistas:* use el vehículo de proyecto DE-1220 o DE-610.

*Arterias principales:* use el vehículo de proyecto DE-610; puede ser usado en calles secundarias donde las vueltas no son significativas, o en calles principales que se encuentran provistas de un carril especial para estacionamiento y pasos para peatones.

Deberán tomarse en consideración para la operación vehicular de las calles que forman la intersección, pues dependiendo de dichos vehículos podrán variarse los radios de giro según la anchura de la calle a la cual se incorporarán los vehículos que dan vuelta.

### *Características de operación*

En las siguientes líneas se analizarán las características de operación de los vehículos que fundamentalmente influyen en el proyecto geométrico.

### *Radio de giro*

Éstos variarán de acuerdo con la velocidad de proyecto considerada y principalmente se presentan dos casos, uno es cuando la velocidad en la intersección es menor a 15 kilómetros por hora, y otro para velocidades altas (mayores a 0.7 de la velocidad de proyecto).

En el primer caso, el radio de la vuelta está controlado por el radio de giro mínimo del vehículo de proyecto. Para velocidades altas el radio mínimo para vueltas puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$R = 0.00785 V^2 / (s + \mu)$$

Donde:

R = Radio de la curva en metros

V = Velocidad de vuelta, en kilómetros por hora

S = Sobreelevación

$\mu$  = Coeficiente de fricción lateral

Tabla No. 1.1.  
Características de los vehículos de proyecto.

| C A R A C T E R I S T I C A S                                                                                              |                                                    |     | VEHICULO DE PROYECTO |         |         |                |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|----------------------|---------|---------|----------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                            |                                                    |     | DE-335               | DE-450  | DE-610  | DE-1220        | DE-1525                             |
| D I M E N S I O N E S   E N   C M .                                                                                        | Longitud total del vehículo                        | L   | 580                  | 730     | 915     | 1525           | 1678                                |
|                                                                                                                            | Distancia entre ejes extremos del vehículo         | DE  | 335                  | 450     | 610     | 1220           | 1525                                |
|                                                                                                                            | Distancia entre ejes extremos del tractor          | DET | —                    | —       | —       | 397            | 915                                 |
|                                                                                                                            | Distancia entre ejes del semiremolque              | DES | —                    | —       | —       | 762            | 610                                 |
|                                                                                                                            | Vuelo delantero                                    | Vd  | 92                   | 100     | 122     | 122            | 92                                  |
|                                                                                                                            | Vuelo trasero                                      | Vt  | 153                  | 180     | 183     | 183            | 61                                  |
|                                                                                                                            | Distancia entre ejes tándem tractor                | Tt  | —                    | —       | —       | —              | 122                                 |
|                                                                                                                            | Distancia entre ejes tándem semiremolque           | Ts  | —                    | —       | —       | 122            | 122                                 |
|                                                                                                                            | Distancia entre ejes interiores tractor            | Di  | —                    | —       | —       | 397            | 488                                 |
|                                                                                                                            | Dist. entre ejes interiores tractor y semiremolque | Dis | —                    | —       | —       | 701            | 793                                 |
|                                                                                                                            | Ancho total del vehículo                           | A   | 214                  | 244     | 259     | 259            | 259                                 |
|                                                                                                                            | Entrevía del vehículo                              | EV  | 183                  | 244     | 259     | 259            | 259                                 |
|                                                                                                                            | Altura total del vehículo                          | Ht  | 167                  | 214-412 | 214-412 | 214-412        | 214-412                             |
|                                                                                                                            | Altura de los ejes del conductor                   | Hc  | 114                  | 114     | 114     | 114            | 114                                 |
|                                                                                                                            | Altura de las faros delanteros                     | Hf  | 61                   | 61      | 61      | 61             | 61                                  |
|                                                                                                                            | Altura de las faros traseros                       | Ht  | 61                   | 61      | 61      | 61             | 61                                  |
| Angulo de desviación del haz de luz de las faros                                                                           |                                                    |     | cc                   | 1°      | 1°      | 1°             | 1°                                  |
| Radio de giro mínimo (cm)                                                                                                  |                                                    |     | Rg                   | 732     | 1040    | 1281           | 1220 <sup>a</sup> 1372 <sup>a</sup> |
| Peso total (Kg)                                                                                                            | Vehículo vacío                                     | Wv  | 2500                 | 4000    | 7000    | 11000          | 14000                               |
|                                                                                                                            | Vehículo cargado                                   | Wc  | 5000                 | 10000   | 17000   | 25000          | 30000                               |
| Relación Peso/Potencia (Kg/HP)                                                                                             |                                                    |     | Wc/P                 | 45      | 90      | 120            | 180                                 |
| VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO                                                                                 |                                                    |     | Ap y Ac              | C2      | B.-C3   | T2-S1<br>T2-S2 | T3-S2<br>OTROS                      |
| PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO | Ap y Ac                                            |     | 99                   | 100     | 100     | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | C2                                                 |     | 30                   | 90      | 99      | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | C3                                                 |     | 10                   | 75      | 99      | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | T2-S1                                              |     | 0                    | 0       | 1       | 80             | 99                                  |
|                                                                                                                            | T2-S2                                              |     | 0                    | 0       | 1       | 93             | 78 100 98                           |
|                                                                                                                            | T3-S2                                              |     | 0                    | 0       | 1       | 18             | 90                                  |
|                                                                                                                            | T3-S2                                              |     | 0                    | 0       | 1       | 18             | 90                                  |
| PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO             | Ap y Ac                                            |     | 98                   | 100     | 100     | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | C2                                                 |     | 62                   | 98      | 100     | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | C3                                                 |     | 20                   | 82      | 100     | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | T2-S1                                              |     | 6                    | 85      | 100     | 100            | 100                                 |
|                                                                                                                            | T2-S2                                              |     | 6                    | 42      | 98      | 98             | 98                                  |
|                                                                                                                            | T3-S2                                              |     | 2                    | 35      | 80      | 80             | 80                                  |

Los vehículos al dar vuelta, tienden a derrapar hacia la parte externa de la curva acentuándose esto a velocidades altas. Para efectos de proyecto, se ha tomado como ángulo de deslizamiento un valor igual a tres grados. A dicho deslizamiento se debe el que la anchura del pavimento en curva sea mayor.

El coeficiente de valor total lateral varía según la curva corresponda a una intersección o a un camino abierto. El usuario acepta valores de coeficientes de fricción lateral mayores en intersecciones que en caminos abiertos.

### *Aceleración*

Esta característica de operación es usada para la determinación de:

- El tiempo necesario para cruzar una intersección partiendo de la posición de alto.
- La distancia requerida para rebasar un vehículo.
- La separación entre vehículos
- Los automóviles tienen una razón de aceleración comprendida entre 6.4 y 9.6 kilómetros por hora por segundo, es decir 1.8 a 2.7 metros por segundo, cada segundo.
- La razón de aceleración es mayor a bajas velocidades siendo mínima a altas velocidades (mayores a 30 kilómetros por hora). Los valores asentados con anterioridad corresponden a automóviles circulando a bajas velocidades.

### *Frenado*

Esta operación varía de acuerdo con la fricción longitudinal que exista entre las llantas y el pavimento y con la habilidad que se tenga para frenar el vehículo.

Características:

- La aceleración o frenado no puede exceder los valores que el pavimento permite.
- Un vehículo que se deslice sin aplicar los frenos ni el acelerador irá reduciendo su velocidad exclusivamente por la fuerza tractiva.

- La resistencia de la máquina es otra resistencia que hace que un vehículo tienda a decelerar.
- Si los frenos son aplicados súbitamente, las llantas quedarán inmovilizadas y el vehículo derrapará.

## EL CAMINO

### Factores de diseño y proyecto relacionados con el camino

#### *Proyecto geométrico*

Forman parte del proyecto geométrico de una calle o carretera todos los recursos visibles de ellas, influyendo en su diseño: el alineamiento vertical, alineamiento horizontal, elementos de la sección transversal, la distancia de visibilidad, tanto de parada como de rebase, y las intersecciones.

Antes de iniciar el proyecto geométrico habrá que hacerse la siguiente pregunta: ¿quién usará el camino y con qué frecuencia? Tres factores principales nos darán las características geométricas del camino a fin de que brinde seguridad, eficiencia y economía al usuario: volúmenes de tránsito, composición vehicular y velocidad.

#### *Clasificación de vialidades urbanas*

*Autopistas urbanas*, las cuales proporcionarán un rápido y eficiente movimiento de grandes flujos vehiculares entre zonas, y a través de la mancha urbana. Estas vías tienen la particularidad de ser de acceso controlado.

*Arterias principales*, que son las que dan servicio entre sectores a lo largo de la ciudad y aunque proporcionan acceso directo a propiedades requieren de ciertas normas de control de acceso y de uso del área adyacente a las guarniciones.

*Calles colectoras*, las cuales son de características geométricas más pobres que las dos anteriores y permiten la comunicación entre las arterias principales y las locales. Presentan la peculiaridad de tener acceso a las propiedades.

*Calles locales*, que tienen la cualidad de servir en áreas privadas o locales, y las cuales poseen acceso directo a las propiedades. Por ser como su nombre lo indica, este tipo de calles permiten características o especificaciones más pobres que las anteriores.

### *Elementos básicos de proyecto*

Se refieren principalmente a los elementos que determinan la magnitud de un camino en particular. Los esenciales son: volúmenes de tránsito, composición vehicular (automóviles, autobuses y camiones), velocidad de proyecto y, si se requiere, control de accesos.

Estos datos permiten decidir cuándo un camino debe tener características geométricas muy rígidas, por los fuertes volúmenes vehiculares que se operan, o altas velocidades de operación o, en su defecto, en qué circunstancias el camino debe ser de menor importancia debido a que cualquiera de los elementos enunciados no justifica una mayor inversión.

Naturalmente que existen otros elementos que influyen en el proyecto de un camino, como la topografía, características físicas y económicas, etcétera.

### *Volúmenes de tránsito*

Es el elemento principal para la elaboración de un proyecto adecuado y requiere de información presente, tendencias de expansión vehicular y de volúmenes futuros. Los volúmenes generalmente empleados son el Volumen Diario Promedio Anual (VDPA), tanto presentes como futuros y para efectos de diseño el Volumen Horario

de Proyecto; éste reviste la particularidad de que es el volumen que servirá para determinar las características geométricas que deberá tener el proyecto en cuestión.

El proyecto de una calle se basa en el volumen que existirá en un sentido de circulación, en una hora determinada del día. Es por ello que las características geométricas que arroja el volumen horario de proyecto en un sentido son consideradas para el otro sentido de circulación en el caso de arterias con doble sentido de circulación. Lo anterior implica que obteniendo el (VDPA) en ambos sentidos del tránsito, futuro para el año en que se proyectará la obra y convertido a volumen horario  $n$ , se afecte este valor por un factor llamado factor de distribución direccional, que está expresado como el porcentaje mayor de ambos sentidos del tránsito, con relación al volumen total por hora, durante las 24 horas del día. La distribución direccional se acostumbra indicarla 55-45, por ejemplo, entendiéndose como tal que en un sentido de circulación existe el 55 % del volumen total quedando para el otro el 45%.

Estos volúmenes se expresan generalmente como tránsito mixto, es decir, incluyendo tanto los automóviles como los autobuses y camiones. Este tránsito será diferente al real debido a que los vehículos pesados tendrán una equivalencia en automóviles de acuerdo con sus características de operación y las características topográficas del camino.

### *Composición vehicular*

Describe la proporción de los diferentes tipos de vehículos que integran el volumen total mixto (automóviles, autobuses y camiones). Es importante su conocimiento, puesto que a partir de los porcentajes en que incurran los autobuses y los camiones en el flujo vehicular mixto, podrá ser calculado el volumen de vehículos ligeros equivalentes.



### *Velocidad de proyecto*

Es un elemento primario en la elaboración de un proyecto, en el que, junto con el volumen horario de proyecto y el porcentaje de camiones, servirán para determinar el tipo de operación y las velocidades que serán esperadas en el camino.

### *Control de accesos*

Describe el grado de interferencia del camino en proyecto, o la restricción a la libertad de movimientos, e influye en el diseño de los diferentes elementos del camino. Este control de accesos puede ser nulo, parcial o total.

### *Vehículo de proyecto*

Es aquel tipo de vehículo cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para los controles de diseño de las vías, de tal modo que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo. Para efectos de diseño se consideran dos clases de vehículos, livianos y pesados.

### *Elementos de la sección transversal del camino*

El proyecto de los diferentes elementos que componen la sección transversal de una calle o carretera estará determinado por el uso a que están destinados. La sección transversal del camino está compuesta por diferentes elementos que conjuntamente forman el derecho de vía. Estos elementos son, entre otros: el camino propiamente dicho con su superficie de rodamiento, anchura, pendiente transversal, y número de carriles por sentido del tránsito; elementos adyacentes al camino son los acotamientos, banquetas, guarniciones, cunetas, las fajas separadoras centrales o laterales y otros.

### *Superficie de rodamiento*

Las calles con altos volúmenes de tránsito necesitan superficie de rodamiento uniforme y con mejores materiales y acabados. Esto es debido fundamentalmente a que pavimentos más rugosos tienden a disminuir la velocidad de operación de los vehículos.

Para una circulación segura, los acotamientos serán de un color contrastante con la superficie de rodamiento. Igual procedimiento podría aplicarse en ramales de entrada o salida en una intersección.

### *Anchura de carriles*

Éstos deben ser de dimensiones tales que no afecten la capacidad de un camino la cual será definida posteriormente. Cuando los carriles de circulación son menores a lo establecido, existe un decremento de la capacidad de la vía. Cuando los carriles de circulación son mayores, existe la tendencia a tomar el camino como si fuera de carriles múltiples, haciendo la operación más forzada y con peligros a colisiones. Las anchuras de carril generalmente empleadas son: 3.05, 3.20, 3.35, 3.50, y la ideal de 3.65 metros.

### *Pendiente transversal (bombeo)*

Se caracteriza por tener un punto de altura máxima que corresponde al centro del camino (de dos carriles o de carriles múltiples, con circulación en ambos sentidos), a partir del cual corren pendientes descendentes hacia las orillas del camino, con el objeto de facilitar el drenaje del agua superficial, la pendiente transversal puede ser una sección plana o curva o una combinación de ambas.

La pendiente transversal del camino reviste suma importancia, sobre todo cuando el alineamiento horizontal del camino está formado por tangentes y curvas continuas. Con relación al bombeo natural del

camino de carriles múltiples, deberá tenerse la precaución de que cada carril sucesivo que se aleja del partaguas o eje del camino tenga una pendiente incrementada respecto al carril anterior; así, el carril adyacente al eje del camino debe contar con el bombeo mínimo aceptable, y las que siguen la orilla deben tener un valor incrementado en 0.5% respecto al anterior. La pendiente transversal normal varía desde 1 a 2%.

### *Acotamientos*

Los acotamientos son elementos de la sección transversal que indirectamente hacen que se eleve la capacidad del camino; son auxiliares valiosos para el caso de paradas de emergencia y como soporte del cuerpo de la superficie de rodamiento.

Varían de un mínimo de 1.20 m a un valor deseable de 3 metros cuando el camino soporta grandes volúmenes de tránsito y altas velocidades de operación. Su inclusión dentro de la sección transversal del camino queda determinada por los dos elementos anteriores y además por la composición vehicular y tipo de terreno en que se aloja el camino.

### *Banquetas*

Forman parte imprescindible de las calles y son de gran importancia en las áreas urbanas. La decisión de la construcción o no de banquetas en áreas rurales se verá influenciada por los desarrollos poblacionales a lo largo del camino, los volúmenes del tránsito, que circulan por el mismo, el volumen peatonal y las velocidades desarrolladas en estos puntos.

### *Guarniciones*

Son elementos importantes en el proyecto de un camino, pero requieren sean construidas donde realmente se necesitan, ya que pueden afectar la seguridad que proporciona el mismo.

Existen dos tipos de guarniciones: las *verticales* y las *montables*. En las primeras, las paredes laterales son verticales y relativamente altas para impedir que los vehículos salgan de su trayectoria normal. Son usadas generalmente en lugares donde circulan peatones, como puentes, banquetas y estribos. Las guarniciones montables están diseñadas para permitir que los vehículos puedan montarlas sin peligro alguno de volcamiento. Su uso más frecuente es en zonas rurales para caminos, como orilla interna de los acotamientos y como delineadores de isletas canalizadoras.

### *Defensas y fantasmas*

Son usadas en puntos donde la salida de un vehículo podría acarrear funestas consecuencias. Su posición y diseño permiten a los vehículos impactos atenuados que hacen que tiendan a recuperar su trayectoria original.

Los fantasmas sirven para auxiliar al conductor durante la noche, o bien bajo condiciones climatológicas desfavorables (niebla, lluvia) ya que permiten delinear la trayectoria del camino.

### *Pendientes de los taludes*

En cortes y terraplenes, deben ser tendidos en su intersección con el terreno. El buen estado de los taludes permite un buen control de la erosión, mantenimiento a bajo costo, estabilización del suelo y un drenaje adecuado.

### *Fajas separadoras*

Son usadas para separar flujos vehiculares contrarios o carriles de alta velocidad. Son esenciales en caminos de carriles múltiples y deben ser tan anchos como el derecho de vía lo permita. El rango de variación de estas anchuras es de 1.20 m a 1.80 m o más. Su inclusión dentro del proyecto de un camino permite mayor libertad de movimiento, evita el

deslumbramiento, proporciona áreas adecuadas para vueltas izquierdas, refugios de emergencia, etcétera.

Permiten reservar áreas para nuevas perspectivas en la anchura de la superficie de rodamiento. En un futuro, se podrán realizar sobre dichas fajas, carriles exclusivos para vueltas izquierdas, cuando los flujos vehiculares lo requieran.

### *Anchura del derecho de vía*

Las dimensiones del derecho de vía son variables de acuerdo con el número de carriles de que constará un camino al año proyectado. Este derecho de vía deberá contener tanto la superficie o superficies de rodamiento, en el caso de cuerpos separados, como todos los elementos adyacentes al camino (áreas verdes, etcétera).

### *Alineamiento del camino*

La sección transversal del camino está compuesta por tramos rectos (en tangente), conectados por curvas que generalmente *son circulares*. Esto es lo que forma el alineamiento horizontal del camino y su representación gráfica (en planta) es una sucesión continua de líneas rectas y curvas.

El alineamiento vertical, en cambio, representa el perfil del camino y está compuesto por líneas rectas con pendiente positiva (ascendente), o a nivel y conectados entre sí mediante curvas verticales parabólicas. La consideración de pendiente positiva (ascendente) o negativa (descendente) es siempre siguiendo el cadenamiento del camino.

### *Alineamiento horizontal*

Para efectos de un buen proyecto es conveniente que entre los tramos en tangentes, sean colocadas curvas con transiciones o espirales de transición. El alineamiento debe ser de tal manera que no existan cam-

bios repentinos de tramos en tangentes largos seguidos de una curva o de curvas agudas, asimismo, se deberá dar a las curvas del alineamiento horizontal las ampliaciones necesarias para que éstas sean seguras y cómodas, ver figura No. 1.3.

Curvas de pequeño grado parabólico, además de proporcionar la seguridad requerida, suministran una apariencia agradable al camino.

### *Sobreelevación de las curvas*

Cuando un vehículo circula por una curva horizontal, existe una fuerza llamada centrífuga que hace que el vehículo tienda a alejarse del centro de la curva, mediante deslizamiento o volcamiento. Por lo tanto, al proyectarse una curva será necesario dotarla de la sobreelevación adecuada, de tal manera que sea eliminado el efecto de la fuerza centrífuga.

Las fuerzas componentes y paralelas a la superficie del camino y correspondientes al peso del vehículo, y la fuerza centrífuga, son las que deberán igualarse para que no se provoque deslizamiento o volcamiento.

Dada una velocidad y el vehículo de proyecto, la sobreelevación necesaria para que no exista volcamiento podrá ser calculada con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{gR(E) + 2hV^2}{2gRh + V^2(E)}$$

Donde:

S = Sobreelevación de la curva para que no exista volcamiento.

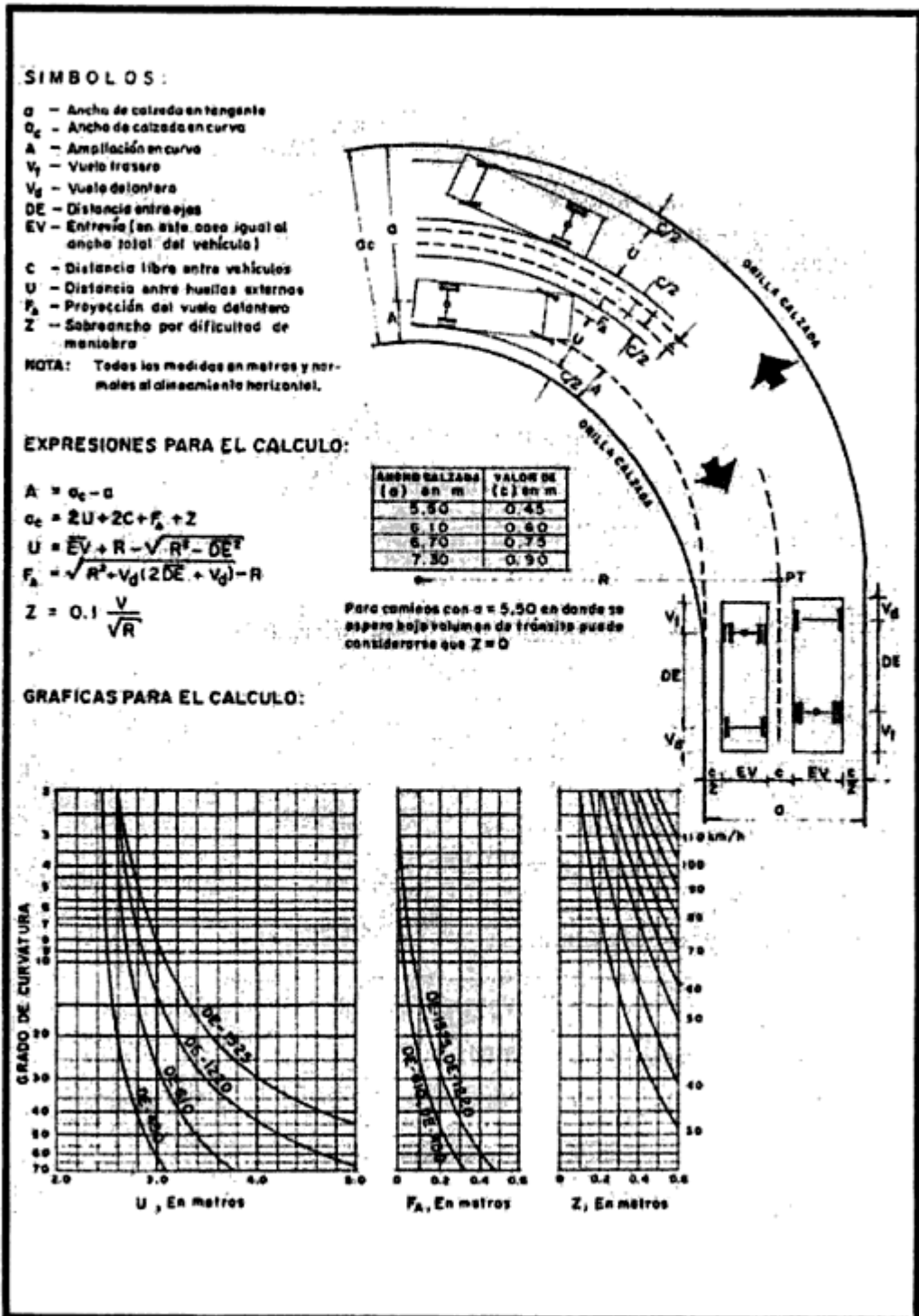
R = Radio de curvatura en metros.

E = Entrevía del vehículo, es decir, la distancia entre las caras extremas de las ruedas de un eje en metros.

h = Distancia del centro de gravedad del vehículo a la superficie del pavimento, medida perpendicularmente a esta última.

V = Velocidad máxima de seguridad, en km/h.

Figura No. 1.3  
Ampliaciones en curvas del Alineamiento Horizontal.





De la formula anterior, y dada una curva con características definidas, podrá ser obtenida la velocidad máxima de seguridad mediante la siguiente formula:

$$V = \sqrt{\frac{gR(E) - 2gRhs}{S(E) - 2h}}$$

Este valor de la velocidad deberá ser menor que el valor máximo de la velocidad de seguridad por deslizamiento. Para que no ocurra deslizamiento es necesario tomar en cuenta el valor llamado coeficiente de fricción lateral. En estas condiciones, el valor de la velocidad máxima de seguridad está dada por la formula siguiente:

$$V = \sqrt{\frac{S + \mu}{0.00785}} R$$

Donde:

V = Velocidad máxima de seguridad al deslizamiento, en kilómetros por hora.

S = Sobreelevación de la curva.

$\mu$  = Coeficiente de fricción lateral.

R = Radio de la curvatura en metros.

"Las condiciones climatológicas son determinantes en el valor de la sobreelevación que deberá ser tomado. La AASHO recomienda un valor máximo de 0.12, que debe ser disminuido en caso de hielo o nieve. Así, recomienda un valor de 0.08 para superficies heladas, aunque puede ser disminuido a 0.05 o menor".

### *Curvas circulares*

Dos de los elementos esenciales de las curvas que definen su magnitud, son el radio y el grado de la curvatura (ángulo central subtendido

por una longitud de curva-arco, de 20 m). Son inversamente proporcionales y están relacionados de la siguiente manera:

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$

Donde:

$G_c$  = Grado de curvatura.

$R_c$  = Radio de la curva.

Existe una relación muy estrecha entre el grado de curvatura, la sobreelevación y el coeficiente de fricción lateral. Dicha relación es expresada mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{0.00785V^2}{S + \mu}$$

Sustituyendo el valor de  $R$ , en la ecuación del grado de curvatura, tendremos:

$$G_c = \frac{1.46 * 10^5 (S + \mu)}{V^2}$$

El valor máximo del grado de curvatura recomendado por la AASHO es el encontrado utilizando los valores máximos de sobreelevación y coeficiente de fricción lateral.

### *Curvas espirales de transición*

Estas curvas sirven para que sobre ellas se pase gradualmente del bombeo natural del camino a la sobreelevación exigida, y para cambiar gradualmente el radio que se traía en la tangente y el cual es infinito, al de la curva circular. Con estos dos cambios graduales, el conductor podrá circular a la velocidad permitida por la curva con mayor seguridad y comodidad para los vehículos. Son generalmente eliminadas cuando las

curvas circulares son amplias y con grado de curvatura menor o igual a un grado. También son usadas para separar curvas inversas y compuestas (en donde el grado de curvatura difiere en más de 5 grados).

#### *Longitud de transición de la sobreelevación.*

Es la longitud que se requiere para efectuar el cambio de la sección normal de un camino en tangente, a una sección totalmente sobreelevada al principio de una curva horizontal.

El cambio de una a otra sección debe ser gradual y uniforme y generalmente se realiza sobre la longitud total de la espiral de transición.

#### *Anchura del pavimento en curvas*

La posición de un vehículo al circular en una curva es diferente a la que tendría en un tramo tangente. La anchura del pavimento en una curva será mayor que en tramos en tangente.

La anchura extra de pavimento en curvas varía de 0.0 a 2.20 metros. Mientras más forzada es la curva y el vehículo de proyecto de mayores dimensiones, mayor será el ancho requerido.

Las ampliaciones generalmente empleadas fluctúan entre 0.60 y 1.20 metros. En caminos no divididos en cuatro carriles, la ampliación debe ser doble de la calculada para un camino de dos carriles.

#### *Obtención de las ampliaciones en las curvas*

La ampliación en las curvas es aplicada gradualmente. En las que tienen espirales de transición, puede ser colocada íntegramente en la parte interna de las curvas o dividida igualmente tanto en la parte interna como en la externa (ver figura No. 1.3, de este mismo tema).

Cuando carece de espiral de transición, la ampliación deberá ser aplicada sólo en la parte interna. A lo largo de toda la curva deberá contar con la

ampliación calculada y a partir de los puntos extremos de ella, irá decreciendo hasta el valor cero, al inicio de las espirales de transición.

La marca central que delimita los dos sentidos de circulación deberá ser pintada al centro del camino ampliado.

### *Alineamiento vertical*

El alineamiento vertical de un camino es la representación gráfica del perfil del eje central imaginario del mismo y está constituido por una serie de líneas rectas conectadas por curvas verticales parabólicas.

Esta representación gráfica es el resultado de un exhaustivo análisis que culmina con un balance adecuado de movimientos de tierras, de tal manera que los cortes que tengan que hacerse tiendan a ser los mismos que son necesarios para los terraplenes.

En el caso de terrenos planos, la subrasante deberá ser aproximadamente paralela a la superficie del terreno y lo suficientemente alta para permitir el drenaje superficial.

Cuando la diferencia en pendientes entre dos líneas subrasantes es mayor a 0.5%, es conveniente unir las mediante una curva vertical.

### *Pendiente máxima*

Para determinarla es necesario tomar en consideración el tipo y frecuencia de vehículos que utilizarán el camino. La generalidad de los vehículos puede circular normalmente en caminos con pendientes de 4 a 6 %, para un camino tipo "A" (normas SCT), siempre y cuando éstas no sean muy prolongadas y que la relación peso-potencia de ellos no sea muy grande.

En cambio, la velocidad de los vehículos pesados se ve grandemente afectada conforme se incrementa la pendiente de un camino, en estos casos la velocidad se ve aún más afectada por la longitud y grado de la pendiente, y por la relación peso-potencia del vehículo.

En caminos secundarios pueden ser utilizados los valores afectados por el factor 1.2 a 1.5.

### *Longitud crítica de pendientes*

Se refiere a la longitud que puede tener un camino con una pendiente determinada, de tal manera que no hay decremento de velocidad irrazonable. Ha sido establecida por la AASHO, una reducción de velocidad de 25 kilómetros por hora como control para el diseño.

Las figuras que son utilizadas por la SCT (ver unidad 3, tema de capacidad) y las cuales fueron desarrolladas por Firey y Peterson y permiten determinar la longitud máxima de un camino con un pendiente máxima o conjunto de pendientes, para que puedan circular por él los vehículos que se anotan en las figuras.

Figura No. 1.4  
Curvas de aceleración/desaceleración para una relación de 90 kg/hp

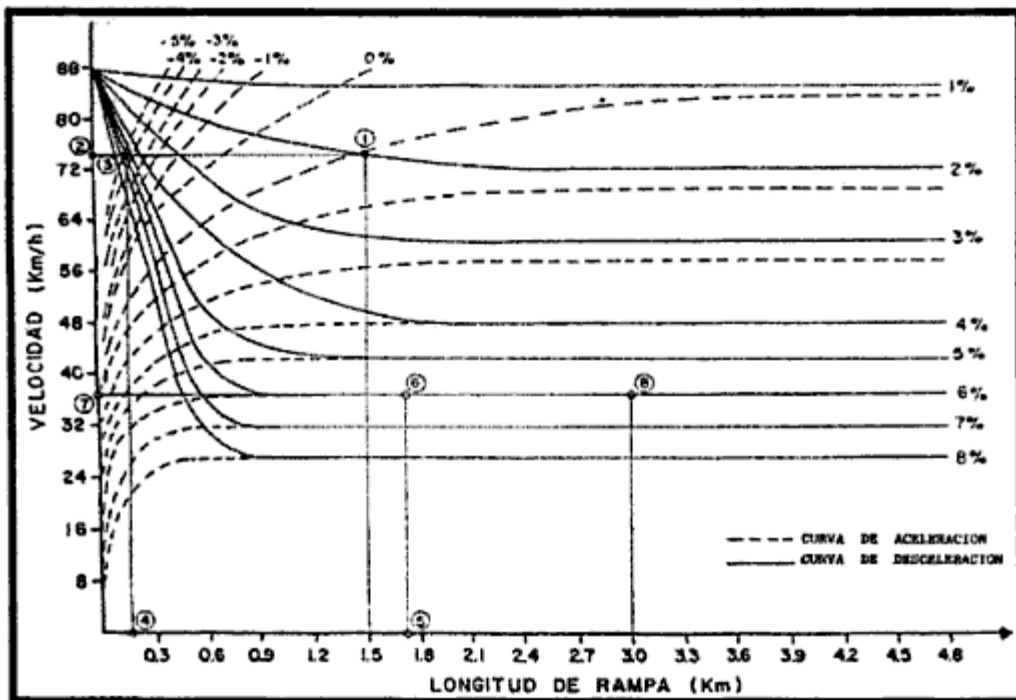


Figura No. 1.5  
Longitud de rampa (km) para 45 kg/hp

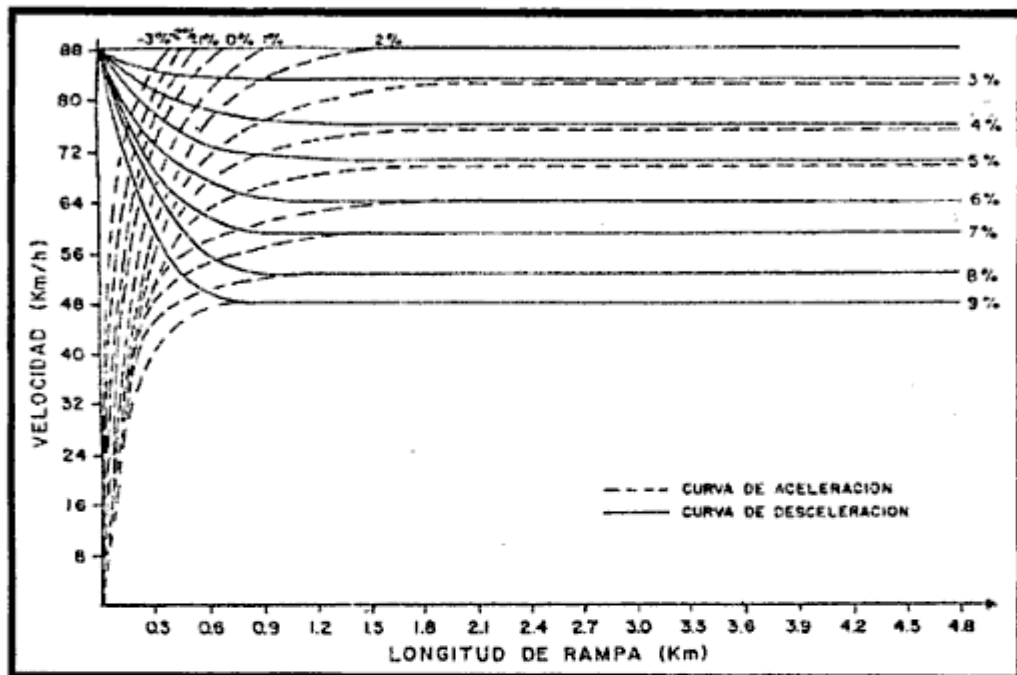
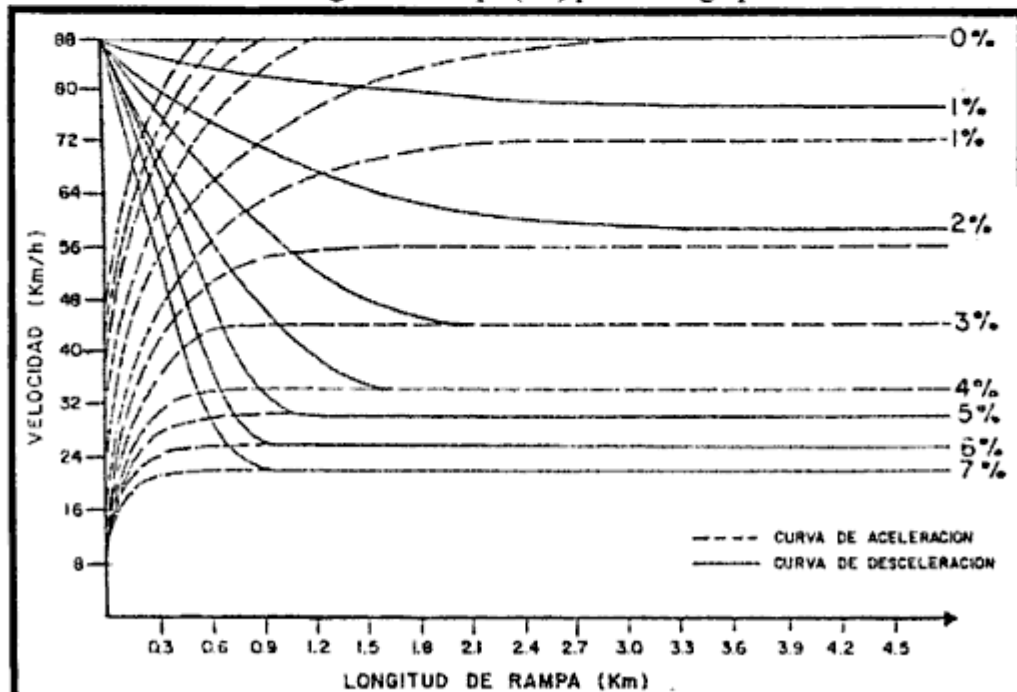


Figura No. 1.6  
Longitud de rampa (km) para 135 kg/hp



Dada una velocidad de entrada, se irá directamente a la gráfica adecuada, se buscará el valor de la velocidad en el eje de las ordenadas y se encontrará el punto de intersección de esta ordenada con la curva representante de una pendiente escogida. A partir de este punto se recorrerá la curva hasta llegar al punto de intersección de la velocidad de entrada menos 25 km/h con la curva en cuestión. La diferencia de abscisas entre los dos puntos de intersección será la longitud máxima que deberá tener el tramo de camino para una circulación aceptable.

En el caso de un tramo de camino que se ha proyectado con una combinación de pendientes, si se quiere conocer la velocidad que tendrá al final del mismo se procederá como sigue: con la velocidad de entrada al inicio del tramo se encontrará el punto de intersección de esta velocidad con la curva proporcionada a la pendiente con la que inicia el tramo.

A partir de este punto se recorrerá la curva hasta un punto en el cual la diferencia de abscisas de este último con el primero sea la distancia correspondiente a la sección del camino con la pendiente en cuestión. El último punto nos determinará la velocidad con la que se llegará al final de la sección con la pendiente analizada y la cual será la velocidad de entrada para el subtramo con una nueva pendiente.

En el caso de terrenos planos el camino debe contar con la pendiente mínima del camino será de 0.5%, que garantice un drenaje apropiado, cuando el camino se encuentra en corte, la pendiente debe ser la mínima especificada de 0.5%.

### *Curvatura y pendientes combinadas*

En terrenos montañosos es usual encontrar curvas horizontales combinadas con pendientes. En muchos casos, ambos son acentuados y manifiestan riesgos mayores que los que presentarían separadamente. En estos casos, es necesario reducir la pendiente, compensando así la resis-



tencia a la operación del vehículo, causada por la curvatura. La fórmula generalmente empleada para encontrar la reducción que deberá aplicarse a la pendiente es:

$$\text{Compensación (\%)} = \frac{75.70}{R}$$

En donde:

R es el radio de la curva en metros.

Esta compensación deberá ser aplicada cuando las curvas tienen un grado de curvatura mayor a seis grados y con pendientes de 5% o mayores. Asimismo, deberá aplicarse a curvas con radio menor a 300 m y las mismas características de pendiente.

### *Distancia de visibilidad*

El proyectista debe proporcionar una distancia de visibilidad adecuada para que el conductor pueda percatarse de objetos y obstáculos inesperados en el camino; asimismo, al proyectar un camino de dos o tres carriles deberán preverse, a intervalos frecuentes, tramos con la suficiente distancia de visibilidad, para permitir a los conductores rebasar vehículos sin riesgo alguno.

La distancia de visibilidad a todo lo largo de un camino debe ser lo mayor posible, y en ningún caso menor a la distancia de visibilidad de parada mínima.

#### *a) Distancia de visibilidad de parada*

Esta compuesta de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo cuando el conductor ve un objeto que se interpone en su camino y coloca el pie en el pedal del freno (percepción y reacción), la distancia requerida para detener el vehículo desde el instante en que fueran aplicados los frenos.

El tiempo de reacción de frenado promedio es aproximadamente de 0.5 segundos; por otro lado, el tiempo de percepción es el requerido por un conductor para llegar a la conclusión de que deben ser aplicados los frenos, y ha sido tomado un valor de 1.5 segundos.

El tiempo de percepción y reacción total es de 2.5 segundos, y es independiente de la velocidad a la que vaya el vehículo. La distancia de visibilidad, de parada mínima, es calculada mediante:

$$D_p = 0.278Vt + \frac{V^2}{254(F \pm p)}$$

Donde:

$D_p$  = Distancia de visibilidad de parada.

V = Velocidad del vehículo en metros por segundo.

t = Tiempo de reacción en segundos.

F = Coeficiente de fricción longitudinal.

P = Pendiente de la carretera.

Para efectos de seguridad, el valor de la fricción longitudinal es el correspondiente a pavimentos húmedos.

| Velocidad de proyecto<br>km/h | Velocidad de marcha<br>km/h | Reacción    |             | Coeficiente de fricción longitudinal | Distancia de frenado<br>m | Distancia de visibilidad |                 |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|
|                               |                             | Tiempo seg. | Distancia m |                                      |                           | calculada m              | Para proyecto m |
| 30                            | 28                          | 2.5         | 19.44       | 0.400                                | 7.72                      | 27.16                    | 30              |
| 40                            | 37                          | 2.5         | 25.69       | 0.380                                | 14.18                     | 39.87                    | 40              |
| 50                            | 46                          | 2.5         | 31.94       | 0.360                                | 23.14                     | 55.08                    | 55              |
| 60                            | 55                          | 2.5         | 38.19       | 0.340                                | 35.03                     | 73.22                    | 75              |
| 70                            | 63                          | 2.5         | 43.75       | 0.325                                | 48.08                     | 91.83                    | 95              |
| 80                            | 71                          | 2.5         | 49.30       | 0.310                                | 64.02                     | 113.32                   | 115             |
| 90                            | 79                          | 2.5         | 54.86       | 0.305                                | 80.56                     | 135.42                   | 135             |
| 100                           | 86                          | 2.5         | 59.72       | 0.300                                | 97.06                     | 156.78                   | 155             |
| 110                           | 92                          | 2.5         | 63.89       | 0.295                                | 112.96                    | 176.85                   | 175             |

Tabla de Distancias de Visibilidad de Paradas (SCT).

**b) Distancia de visibilidad de rebase**

Es la distancia que permitirá al conductor de un vehículo poder rebasar a otro sin riesgos. Generalmente es proporcionada en caminos de dos carriles y tan frecuente como sea posible para evitar el decremento de la capacidad de la carretera. La distancia de visibilidad de rebase mínima de acuerdo con las investigaciones realizadas por la AASHO, es la suma de cuatro distancias:

- $d_1$  = Distancia recorrida durante el período de percepción y reacción y durante la aceleración inicial, hasta el punto en que el vehículo rebasante toma el carril izquierdo.
- $d_2$  = Distancia recorrida por el vehículo rebasante desde el momento que invade el carril izquierdo hasta que regresa a su carril.
- $d_3$  = Distancia entre el vehículo rebasante (al final de su maniobra) y el vehículo que viaja en sentido opuesto.
- $d_4$  = Distancia recorrida por un vehículo que circula en sentido opuesto, que corresponde a un valor de 273 de  $d_2$ .

De acuerdo con las normas SCT la distancia de visibilidad de rebase se determina con la siguiente expresión:

$$D_r = 4.5 V$$

Donde:

$D_r$  = Distancia de visibilidad de rebase en m.

$V$  = Velocidad de proyecto en km/h.

**c) Distancia de visibilidad de encuentro**

La distancia de visibilidad de encuentro se calcula con la expresión:

$$D_e = 2.D_p$$

Donde:

$D_e$  = distancia de visibilidad de encuentro en m.

$D_p$  = Distancia de visibilidad de parada en m.

d) Distancia de visibilidad en curvas verticales en cresta

#### 1. DE PARADA

La distancia de visibilidad de parada es la determinante de la longitud mínima de una curva vertical en cresta. Su obtención está en función de la mencionada distancia de visibilidad y de la diferencia algebraica de las pendientes y se presentan 2 casos:

$$\text{Cuando } d_p < L, L = \frac{AD^2 p}{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}$$

$$\text{Cuando } d_e > L, L = 2D_p - \frac{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}{A}$$

Donde:

$L$  = Longitud de la curva vertical en metros.

$D_p$  = Distancia de visibilidad de parada, en metros.

$A$  = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.

$H$  = Altura del ojo del conductor sobre la superficie del camino, en metros.

$h$  = Altura del objeto visualizado, sobre la superficie del camino en metros.

Los valores de  $H$  y  $h$  para cuando es usada la distancia de visibilidad de parada son 1.14 y 0.15 metros, respectivamente. Por lo tanto, las fórmulas anteriores resultan:

Gabriel Rodríguez Rufino • Lauro Ariel Alonzo Salomón

$$L = \frac{AD^2 p}{425}$$

$$L = 2D_p - \frac{425}{A}$$

## 2. DE REBASE

Las fórmulas anteriores son aplicables para el cálculo de la longitud de la curva vertical en cresta, pero el valor  $h$  en lugar de ser 0.15 m es ahora de 1.37 m. Por lo tanto, las ecuaciones quedarían:

$$L = \frac{ADr^2}{1000}, \text{ para } Dr < L$$

$$L = 2Dr - \frac{1000}{A}$$

En donde:

$D$  = Distancia de visibilidad de rebase.

### e) Distancia de visibilidad en curvas verticales en columpio

Sólo se determinará la longitud de las curvas para la distancia de visibilidad de parada, ya que no es necesario calcular la longitud para la distancia de visibilidad de rebase, pues pueden ser vistos los faros del vehículo que circule en sentido opuesto. Se presentan dos casos:

$$\text{Para } D_p > L; L = 2D_p - \frac{120 + 3.5D_p}{A}; \text{ y para } D_p < L; L = \frac{AD_p^2}{120 + 3.5D_p}$$

La longitud de la curva vertical debe ser escogida de tal manera que al menos tenga la distancia de visibilidad de parada.

*Distancia de visibilidad en pasos inferiores*

La distancia de visibilidad en curvas verticales en columpio, cuando éstas pasan debajo de una estructura es influenciada por dicha estructura. Se presentan dos casos:

$$\text{Si } D > L; \quad L = 2D - \frac{800}{A} \left( C - \frac{h + h_1}{2} \right)$$

$$\text{Si } D < L, \quad L = \frac{D^2 A}{800 \left( C - \frac{h + h_1}{2} \right)}$$

Donde:

$L$  = Longitud de la curva vertical en columpio, en metros.

$A$  = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes, en por ciento.

$D$  = Distancia de visibilidad en metros.

$C$  = Claro libre vertical de la estructura, en metros.

$h$  = Altura vertical del ojo del conductor medida sobre la superficie del pavimento en metros.

$h_1$  = Altura del objeto en metros.

*Distancia de visibilidad en curvas horizontales*

La distancia de visibilidad en curvas horizontales es importante para una operación segura. Cualquier obstáculo colocado en la parte interna de las curvas y cerca de la orilla del pavimento obstruye la vista del conductor. Esta distancia debe ser por lo menos el valor de la distancia de visibilidad de parada mínima.

Para la determinación de la longitud de la curva, se escoge generalmente primero la distancia de visibilidad deseable. El valor  $C$  es consi-

derado de 4.25 metros y los valores de  $h$  y  $h_1$ , de 1.82 y 0.45 metros en la que este último valor es el asumido a la altura de las luces traseras del vehículo que va delante, o la porción visible de un vehículo que circula en sentido opuesto.

Con las condiciones anteriores, las fórmulas resultan:

$$\text{Si } D > L; \quad L = 2D - \frac{2500}{A} \quad \text{pero si } D < L, \quad L = \frac{D^2 A}{2500}$$

## UNIDAD 2

# ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

## ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO

### Definición de términos

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como vías, intersecciones, terminales, etcétera, están sujetas a ser solicitadas y cargadas por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales (ocupan un lugar) y temporales (consumen tiempo). Distribuciones espaciales generalmente resultan del deseo de la gente en efectuar viajes entre determinados orígenes y destinos, llenando así una serie de satisfacciones y oportunidades ofrecidas por el medio ambiente circulante. Distribuciones temporales son el producto de los estilos y formas de vida que hacen que la gente siga determinados patrones de viaje, basados en el tiempo.

Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vía, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito (demanda) que circulará en un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición. Errores que se cometen en la determinación de estos datos, ocasionará que la carretera o calle funcione durante el período de diseño, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, o mal con problemas de congestionamiento por volúmenes de tránsito altos.



### *Volumen de tránsito*

Se define volumen de tránsito como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un período determinado. Se expresa como sigue:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo.

N = Número total de vehículos que pasan.

T = Período determinado.

### *Volúmenes de tránsito absolutos o totales*

Es el número total de vehículos que pasan durante el período de tiempo específico. Dependiendo de la duración del período de tiempo, se tienen los siguientes volúmenes totales:

Tránsito anual (TA): es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso  $T = 1$  año.

Tránsito mensual (TM): es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso  $T = 1$  mes. Tránsito semanal (TS): es el número total de vehículos de vehículos que pasan durante una semana. En este caso  $T = 1$  semana.

Tránsito diario (TD): es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso  $T = 1$  día.

Tránsito horario: tasa de flujo o flujo (q): es el numero total de vehículos que pasan durante un período de tiempo inferior a un hora. En este caso  $T < 1$  hora.

En todos los casos anteriores, el período especificado en un año, un mes, una semana, un día, una hora y menos de una hora no necesariamente son de orden cronológico. Por lo tanto, pueden ser 365 días se-

guidos, 30 días seguidos, 7 días seguidos, 24 horas seguidas, 60 minutos seguidos y períodos en minutos seguidos inferiores a una hora.

### *Volúmenes de tránsito promedios diarios*

El volumen de tránsito promedio diario (TPD) es el volumen total de vehículos que pasan durante un período de tiempo dado (en días completos) igual o menor de un año y mayor que un día, dividido por el número de días del período, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito promedios diarios:

$$\text{Tránsito promedio diario anual (TPDA): } TPDA = \frac{TA}{365}$$

$$\text{Tránsito promedio diario mensual (TPDM): } TPDM = \frac{TM}{30}$$

$$\text{Tránsito de promedio diario semanal (TPDS): } TPDS = \frac{TS}{7}$$

### *Volúmenes de tránsito horario*

Dependiendo de la hora seleccionada, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito horarios:

Tránsito horario máximo anual (THMA): es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de la calzada durante un año determinado.

Tránsito horarios-décimo, vigésimo, trigésimo y quincuagésimo-anual (THD, THV, THT, THQ): son los volúmenes horarios que ocurren en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado, y que son excedidos por 9, 19, 29 y 40 volúmenes horarios respectivamente. Se designan también como 10 th, 20 th, 30 th y 50 th, donde th significa tránsito horario.

Gabriel Rodríguez Rufino • Lauro Ariel Alonzo Salomón

**Tránsito horario de diseño (THD) o volumen horario de proyecto (VHP):** es el volumen de tránsito horario que serviría para determinar las características geométricas de la vía.

**Volumen horario de máxima demanda (VHMD):** es el número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos.

## **Métodos de aforo**

### *Método manual*

El recuento manual es un método para obtener datos de volúmenes de tránsito a través del uso de personal de campo conocido como aforadores de tránsito. Son usados cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el uso de dispositivos mecánicos. Permite la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características y el registro de movimiento de vueltas y otros movimientos, tanto vehiculares como peatonales.

Algunas veces, las malas condiciones de tiempo interfieren con el uso de contadores mecánicos de tránsito; se dispone de equipo automático, el aforo deberá realizarse manualmente. El personal de campo registra los datos en formas de campo diseñadas específicamente para un aforo en particular.

Las formas de campo son hojas para anotaciones directas en los tramos de camino sometidos a estudio. Las formas de campo pueden ser usadas para cualquier período de tiempo que se desee.

Como una regla general, las motocicletas y motonetas son clasificadas con los automóviles. Las bicicletas y vehículos tirados por animales no son aforados.

Cuando dos personas llevan a cabo un aforo de volúmenes de tránsito en una intersección simple de cuatro ramas con sentidos de circulación

doble, deberán estar colocados diagonalmente en esquinas opuestas. Cada observador deberá contar los vehículos que entran desde dos accesos. Cuando el tránsito es elevado puede necesitarse un observador para cada acceso.

De los recuentos manuales puede ser obtenida información y el trabajo de gabinete se simplifica generalmente. Sin embargo, es más caro obtener los datos en esta forma que a través del uso de equipo para recuentos automáticos. Por lo tanto, los recuentos manuales están limitados para períodos cortos o en lugares donde esta forma es la única para poder realizarlos.

En estaciones permanentes, para recuentos continuos, se realizan aforos manuales clasificados para períodos de dieciséis horas en una semana, sábados y domingos, en cada una de las cuatro estaciones del año.

### *Registrador de plumas múltiples*

Es usado cuando se necesita obtener una información detallada del tránsito. Este tipo de registrador tiene un diagrama en movimiento que se mueve a una velocidad fija, lo que proporciona el dato del tiempo base para medir los volúmenes del tránsito y registrarlo. Las plumas son accionadas ya sea por los vehículos o por los observadores.

Los impulsos son registrados sobre un papel rayado en la forma de un diagrama de tiempo continuo.

La transcripción y análisis son muy caros y consumen mucho tiempo. Por esta razón este tipo de registrador es empleado en circunstancias especiales.

### *Dispositivos mecánicos*

La mayor parte de los aforos de tránsito son realizados a través del uso de dispositivos mecánicos, hay un dispositivo apropiado para cada

clase de camino, situación del tránsito y condiciones del medio ambiente. La potencia útil enviada a través del detector es usualmente un impulso electrónico, enviando directamente a un registrador acumulativo o a un diagrama para su registro. La transmisión se realiza por medio de alambres telefónicos, radio u otro medio, dependiendo de los requisitos, disponibilidad y costo.

Hay diferentes principios usados para detectar los vehículos actualmente.

**Detectores neumáticos.** Este dispositivo consta de un tubo flexible fijo al pavimento y formado en ángulo recto con relación a la trayectoria de los vehículos. Un extremo del tubo está cerrado y el otro extremo está conectado a un interruptor que acciona bajo presión. Al pasar por las ruedas, desplazan un volumen de aire que crea una presión en el interruptor. Esta presión mueve los contactos y acciona el registrador. La aproximación de la detección de vehículos por medio de los tubos neumáticos es de 5%.

El dispositivo tiene un bajo costo y es fácil de instalar y de conservar. Es vulnerable a muchos riesgos del tránsito.

**Contacto eléctrico.** Consiste en una placa de acero cubierta por una capa de hule vulcanizado y moldeado que contiene una tira de acero flexible.

Al pasar cada eje de un vehículo sobre el dispositivo cierra un circuito eléctrico. Con este tipo de detector es posible realizar recuentos de vehículos por carril.

**Fotoeléctrico.** El registro de objetos se efectúa cuando un vehículo pasa a través de una fuente de luz. La detección fotoeléctrica no es conveniente para recuento de dos o más carriles. Debido a la gran variación de las características geométricas de los vehículos es muy difícil determinar la altura de la fuente luminosa. Es un sistema simple y digno de confianza, pero está limitado a caminos de volúmenes ligeros.

**Radar.** Una señal de radio al ser reflejada por un objeto en movimiento cambia su frecuencia con relación a la señal de radio incidente. Éste utiliza el radar y compara continuamente la frecuencia de la señal transmitida con la frecuencia de la señal recibida. Siempre que exista una diferencia de frecuencias será detectado un vehículo. No están sujetos a deterioro por la acción del tránsito. Los datos obtenidos son precisos y confiables. Sin embargo, su costo inicial es más alto que muchos otros dispositivos para aforos.

**Magnético.** Una señal o impulso originado por un vehículo en movimiento a través de un campo magnético es la base para la detección magnética. Son de dos tipos: los del tipo autogenerador y aquellos que necesitan una excitación. Los detectores autogeneradores constan de un embobinado, colocando en un tubo de fibra inmediatamente abajo de la superficie del pavimento. El impulso o señal es causado por la distorsión de las líneas de fuerzas normales al campo magnético terrestre en el área del vehículo en movimiento. Las líneas de fuera en movimiento cortan las espirales en el solenoide y se genera un voltaje.

El detector de tipo magnético que necesita un estímulo o excitación usualmente requiere dos embobinados, pero con el rendimiento ajustado para anular uno y otro bajo condiciones normales. Cuando un vehículo pasa sobre los embobinados, un desequilibrio en los rendimientos provoca una señal que es enviada al equipo de ampliación, dando por resultado la detección de un vehículo en movimiento. La unidad no está sujeta a deterioro por la acción de la circulación y no es vulnerable a los riesgos de la nieve o el hielo.

Una variante del detector magnético es un lazo de inducción. Este dispositivo depende de un cambio en la inducción eléctrica de un lazo de alambre, de forma rectangular, enterrado bajo la superficie pavimentada que detecta el paso de un vehículo.

**Ultrasonico.** Una onda ultrasónica es generada por un diafragma en vibración. Esta onda es enfocada hacia la calzada y recogida por una celda. Al ser interrumpida la detección de la onda, se produce el cierre de un relevador. Este tipo de detector no sólo detecta vehículos en movimiento, sino que puede detectar vehículos detenidos. No está sujeta a la acción del tránsito o riesgos. Es muy preciso, pero tiene un alto costo inicial.

**Infrarrojo.** El sistema de rayos infrarrojos usa una celda de captación sensible a la radiación de rayos infrarrojos. Los detectores infrarrojos pueden ser activos o pasivos. Los detectores activos tienen una fuente de energía infrarroja, mientras que los detectores pasivos detectan el calor radiado por el vehículo.

En el sistema activo la energía infrarroja es enfocada a través de un flujo sobre la calzada y la recoge por reflexión.

Las unidades de detección infrarroja no son vulnerables ni están sujetas al deterioro por la acción normal del tránsito, de la nieve o del hielo, pero tienen un costo inicial relativamente alto.

Existen varios tipos de dispositivos de registro que pueden acoplarse con los detectores para formar una unidad completa de detección y registro, esos artefactos son:

**Indicador visual.** Es un contador acumulativo que lee directamente una suma, esto requiere de que se verifiquen y registren lecturas del principio y al final del período de recuento ya que no proporciona un registro impreso.

**Cinta impresa.** Recoge el impulso del detector tal como lo almacena y de acuerdo con el tiempo transcurrido, imprime los resultados en una cinta, al final de cada período de impresión, el contador automáticamente regresa a ceros.

**Carta graficadora.** Usando un registrador circular pueden registrarse volúmenes de tránsito en gráficas circulares de cero a mil vehículos,

para intervalos de 5, 10, 15, 20, 30 y 60 min, en períodos de 24 horas o de siete días. El principio con que funciona es el de la distancia de recorrido de la pluma registradora, desde el centro es función del volumen y la rotación de la gráfica del tiempo.

**Cinta para computadoras.** (Descontinuado) actualmente es el uso de circuitos integrados con los que se pueden leer los volúmenes de tránsito con un contador digital.

**Fotografía.** Se usa para obtener series de fotografía del tránsito en una zona en particular, de esta manera se puede obtener un inventario periódico, o casi continuo, de la zona cubierta.

#### *Método del automóvil en movimiento*

Permite determinar el volumen y la velocidad del tránsito al mismo tiempo. Consiste en viajar por un ramo del camino de estudio, en un vehículo, con un operador y un observador. Mientras el vehículo se mueve a lo largo del tramo en estudio, el observador registra los vehículos que transitan el sentido opuesto, asimismo, toman nota de los vehículos que lo rebasan y de los que rebasa.

El vehículo de prueba recorre de un lado a otro la zona en estudio un determinado número de veces a una velocidad media respecto a los vehículos que se mueven con él cuando el tránsito es escaso o nulo, el coche de pruebas deberá viajar aproximadamente a la velocidad estipulada en las señales.

### **Estudios específicos**

#### *Estaciones permanentes de aforo*

Muchos, si no es que todos los departamentos estatales, han establecido estaciones donde se lleva a cabo un registro continuo del volumen del tránsito, las cuales han estado en operación durante décadas propor-



Gabriel Rodríguez Rufino • Lauro Ariel Alonzo Salomón

cionando datos muy útiles en la predicción de las tendencias del tránsito tanto en el ámbito local como nacional, aportando información relativa a las variaciones horarias diarias y estacionales del tránsito. Los volúmenes de tránsito son más o menos metódicos por esta razón, y a través de una apropiada clasificación y del recuento en caminos es posible establecer modelos de tránsito para cada tipo de camino.

### *Control estatal y de zonas*

Se utiliza para elaborar mapas de volúmenes de tránsito que resultan excelentes en lo referente a las relaciones políticas, motivo por el cual tiene gran demanda en organizaciones privadas y comerciales.

### *Recuentos en cordón*

Es el que se hace alrededor de una zona en particular, llevando a cabo recuentos en todas las calles que conducen hacia adentro o hacia afuera de las zonas, totalizando las entradas y salidas puede determinarse la acumulación de vehículos dentro del cordón para períodos determinados.

### *Recuentos en línea divisoria*

Registran los viajes que se hacen a través de barreras geográficas notables, o bien el movimiento de tránsito entre zonas distintas. Las líneas se localizan a lo largo de fronteras naturales o geográficas.

## **ESTUDIOS DE LA VELOCIDAD Y TIEMPOS DE RECORRIDO**

### **Diferentes tipos de estudios**

El estudio de las velocidades del motor puede ser tratado en dos categorías generales: estudios de velocidad de punto y estudios de tiempos de recorrido. Los estudios de velocidad de punto tienen como objetivo

medir la distribución de velocidades de los vehículos en un tramo de camino de longitud relativamente corta. Los resultados se expresan normalmente como velocidades promedio.

Los estudios de tiempo de recorrido son mucho más flexibles en cuanto al método de organizar los datos y a la presentación de los resultados, las velocidades se determinan en una sección relativamente larga de calle o de carretera, expresándose en términos de velocidad promedio.

La velocidad promedio con base en el tiempo no puede compararse con la velocidad promedio con base en el espacio.

### *Estudios de velocidad de punto*

Determina el efecto o la necesidad de diversos dispositivos para el control del tránsito, tales como señales preventivas, señales restrictivas de velocidad y zonificación de velocidad, usualmente se realizan en los siguientes lugares:

- Entre secciones y otros puntos que registran alta frecuencia de accidentes.
- En puntos donde se propone la preparación de semáforos y señales de tránsito.
- En todas las arterias principales.
- En puntos representativos.

### *Personal y equipo*

Un método simple de llevar a cabo un estudio de velocidad de punto requiere de un observador, hojas de cálculo, hojas de resumen, lápices y un enoscopio, el cual es una caja en forma de L, abierta en varios extremos, con un espejo colocado en el interior formando un ángulo de 45 grados con los brazos.





ISBN 968-6843-88-4 (serie)  
ISBN 970-698-093-8 (v. 8)