



CURSO
CA97 INGENIERÍA DE TRANSITO URBANO

TEMA: APUNTES "INGENIERÍA DE TRANSITO URBANO"

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

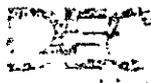
EXPOSITORES: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004

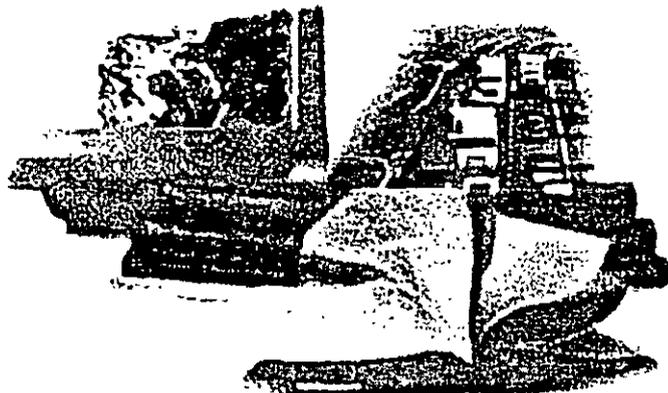


Programa 2004

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA

“INGENIERÍA DE TRÁNSITO URBANO”

28,29 y 30 de junio
1 y 2 de julio



TEMARIO

1. Introducción
 - 1.1 Orígenes y desarrollo
 - 1.2 Concepto de Ingeniería de Tránsito, alcances
2. El vehículo, el usuario y el camino
 - 2.1 Generalidades del usuario, reacciones físicas y psicológicas
 - 2.2 Distancia para detener un vehículo
 - 2.3 Características del vehículo de proyecto
 - 2.4 Radio y peralte de curvas
 - 2.5 Clasificación de la red vial
 - 2.6 Partes integrantes del camino
 - 2.7 Especificaciones de la sección transversal y el alineamiento
3. Dispositivos para el control del tránsito
 - 3.1 Clasificación de los dispositivos de control
 - 3.2 Requisitos
 - 3.3 Tipos de señales (clasificación)
4. Proyecto de señalamiento tipo
 - 4.1 Ejemplo de proyecto de señalamiento
5. Características del tránsito
 - 5.1 Conceptos fundamentales
 - 5.2 Características del volumen
 - 5.3 Características de la velocidad
 - 5.4 Relación velocidad-flujo-densidad
6. Análisis de capacidad y nivel de servicio
 - 6.1 Análisis de los elementos del Manual de Capacidad de carreteras
7. Factores que afectan la capacidad y el nivel de servicio
 - 7.1 Ejemplos de aplicación
8. Educación vial y accidentes
9. Sistemas de cómputo para la solución de problemas de transporte
10. Evaluación técnico económica de proyectos de transporte

1. INTRODUCCION

Debido a la necesidad de traslado que tenemos las personas y al crecimiento de las ciudades, la construcción de calles y carreteras que permitieran la comunicación fue inevitable. Sin embargo, el crecimiento del parque automotor, particular y público, trajo consigo numerosos problemas de tipo operacional que incrementaron los accidentes y las congestiones en las ciudades. Por esta razón nació la ingeniería de transporte, la cual se define como la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, económica y compatible en el medio ambiente.

El sistema de transporte urbano se refiere a todos los componentes de la oferta y demanda de transporte en una ciudad. Por lo tanto, este sistema incluye a la infraestructura vial y de transporte, así como a los medios de transporte disponibles y a los diversos tipos de usuario. Así mismo, el concepto de sistema de transporte urbano es integral y abarca todas las actividades de transporte realizadas en vehículos particulares y públicos.

1.1 Orígenes y desarrollo

Las investigaciones antropológicas en restos humanos y vestigios de antiguos asentamientos urbanos, demuestran que el ser humano existe sobre la Tierra cuando menos hace unos 100.000 años.

Gracias a los descubrimientos de vestigios dejados por grupos primitivos, principalmente en los valles de algunos ríos del mundo como el Nilo, el Eufrates y el Ganges, se sabe ahora que aproximadamente hace unos 10.000 años el hombre llegó a conocer la agricultura e inició su vida sedentaria, abandonando el nomadismo; y que, sin embargo, las antiguas civilizaciones florecieron hace apenas unos 6.000 años.

También gracias a la Antropología sabemos que con la invención de la rueda en Mesopotamia (Asia Menor), hace unos 5.000 años, se originó la necesidad de construir superficies de rodamiento que permitieran la circulación del entonces incipiente tránsito. Lo anterior se supone debido a que en la Tumba de la Reina en las minas de la ciudad de Ur, Mesopotamia, fundada 3.000 A. C., se encontraron carretas de cuatro ruedas (hace cinco mil años).

Debemos considerar que en la antigüedad cuando no se tenía conciencia del fenómeno urbano, la población se asentaba buscando las mejores condiciones para su actividad. De manera que si se dedicaba al comercio, lo hacía cerca de las rutas de comunicación o en las puertas de acceso de una fortificación para vender sus productos, y si su actividad precisaba agua se ubicaba junto al río. A medida que la humanidad evolucionó, se fue extendiendo el concepto de ciudad como hoy lo entendemos: Una organización humana con servicios, actividades comunes, además de una administración y organización política que ha variado con el paso del tiempo.

En aquella época, dos grandes pueblos -Asirios y Egipcios- iniciaron el desarrollo de sus caminos. Los indicios de los primeros caminos, señalan la existencia de una ruta entre Asia y Egipto. Los cartagineses, se sabe, construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur del Mediterráneo, 500 años A. C. Los etruscos (830-350 años A. C.) construyeron caminos antes de la fundación de Roma. El historiador griego Heródoto (484-425 A. C.) menciona que los caminos de piedra más antiguos fueron construidos por el rey Keops de Egipto, para proporcionar una superficie de rodamiento de transporte de las inmensas piedras destinadas a la construcción de las pirámides.

Más tarde, primero Grecia y después Roma intensificaron la planeación de las metrópolis. Para poblar rápidamente su imperio, los romanos tuvieron que idear un sistema fácil de construir ciudades, y aplicaron la estructura de su campamento. La cuadrícula se transformó así en un modelo de urbe romana. Este diseño "Tuvo tanto éxito - dice Ángel Luis Fernández, director de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Europea- que las ciudades se han seguido construyendo así hasta nuestros días, como ocurrió con las poblaciones de colonización española y los ensanches del siglo XIX. El sistema de la retícula siempre ha funcionado muy bien, y probablemente no se ha encontrado otro que dé mejores resultados para la calidad del espacio urbano." Juicio que, como se verá más adelante se ha modificado en las últimas dos décadas en el diseño de nuevas ciudades.

Es con el Imperio Romano cuando aparecen los primeros caminos construidos científicamente. De hecho la famosa Vía Appia, en la ciudad de Roma a Hidruntum, cuya construcción fue iniciada por Appius Claudius en el año 312 A. C., es un ejemplo de las características que entonces se dieron a las vías de comunicación inicio científico en la construcción de caminos. La razón de su preocupación y adelantos en la construcción de caminos se debe a la comunicación que debían tener en su vasto imperio que iba desde España hasta Asia Menor. Investigaciones antropológicas permiten saber que los Romanos llegaron a construir 8,000 carreteras y 300,000 caminos y que estos tenían tal diseño que debían permitir el tránsito de sus tropas y el adelanto sistema de correo que comunicaba a todas las regiones del imperio.

Por otra parte culturas antiguas de América, entre ellas la Maya en el sur de nuestro país y al norte de Centro América; la cultura Tolteca, que se estableció en la Meseta Central de México, por el año 752 D.C., la Azteca, que fundó la ciudad de Tenochtitlán que impactó a sus conquistadores europeos por el diseño y amplitud de sus calles en el siglo XIV D.C., así como la cultura Inca, en el Perú, dejaron huellas de una avanzada técnica en la construcción de caminos, siendo notables los llamados caminos blancos de los mayas. Estos últimos, formados con terraplenes de uno y dos metros de evolución, que eran cubiertos con una superficie de piedra caliza, vestigios que aún se observan en Yucatán.

Los Incas, realizaron verdaderas obras de ingeniería para construir sus caminos por las enormes dificultades que planteaba la accidentada topografía de su terreno, que aún cuando no estaba destinado al tránsito de vehículos, denotaban un movimiento importante. Nuestros antepasados los Aztecas extendieron su dominio por la mayor parte del actual territorio del país, gracias a los caminos transitados por comerciantes y mensajeros. La crónicas españolas de la época de la conquista hacen referencia a las características urbanas de la capital Azteca situada en una isla al centro de un lago con grandes calzadas que la comunicaban con tierra firme y que contaban con puentes levadizos para permitir el constante tránsito de embarcaciones.

En Europa la Edad Media puede considerarse la época urbanística más fértil. Fruto del comercio y del crecimiento demográfico, en el siglo XII se produjo un gran desarrollo, en el que nacieron miles de ciudades en toda Europa, que crecieron espontáneamente alrededor de castillos, murallas o catedrales. La población se agrupaba en torno a un centro, por profesiones, originando calles y barrios gremiales que aún se ven en los cascos antiguos de muchas urbes.

1.1.1 La evolución del transporte.

La evolución que la humanidad presenta en los distintos ámbitos de su historia ha estado fuertemente vinculada con el tránsito, los caminos y los diversos mecanismos utilizados como medios de transporte y que en la actualidad conocemos como vehículo. En la época del Imperio Romano en los tres primeros siglos de nuestra era, éste fue un factor determinante para la comunicación y ejercicio del dominio romano que se mantuvo desde la Península Ibérica hasta China.

En los siglos IV, V y VI, se suceden hechos que propician el declive del imperio romano, con ello la desaparición de la extensa red de caminos que lo comunicaban, y en el siglo VII el sistema feudal genera la reducción de la población y de los viajes entre los distintos feudos o reinos que sobreviven casi aislados entre sí. Las rutas imperiales son abandonadas, y no es sino al final de ese siglo y el siguiente cuando un incipiente comercio vuelve a extenderse a través de rutas terrestres, precedido del tránsito de pueblos invasores como los vikingos, desde el norte, y los sarracenos, del sur.

Hasta el siglo IX la economía feudal, las guerras civiles y las invasiones, incluyendo la de los turcos, contrarrestan los esfuerzos por extender el comercio y conservar las rutas terrestres. En el siglo X, ya en la Edad Media se registra un incremento de la población y el comercio, lo cual genera un mayor tránsito, principalmente de pueblos como los vikingos, los mercaderes de Venecia y el cada vez mayor contacto con los pueblos de Oriente. Otras actividades como las Cruzadas, que principian en el siglo XI, contribuyen en buena medida a la apertura de nuevos caminos e incremento de los viajes. Las ciudades europeas en el siglo XII van incrementar su población, en muchos casos están vinculadas estrechamente al comercio, su trazo es básicamente el de calles angostas agrupadas según una cuadrícula geométrica, aumentando el tránsito en los mal conservados caminos. Este trazo y diseño, que se atribuye a Hipodamo de Mileto y data de varios siglos antes de la Era Cristiana, se aplicó en las ciudades griegas en Asia, como la ciudad de Mileto que al ser reconstruida en el año 479 A. C., se basaba en el tablero de ajedrez.

La mayoría de las ciudades europeas salvo París y algunas ciudades italianas, muestran graves deterioros de sus calles. En algunos casos se pavimentan las vías principales más próximas al centro de la ciudad pero, en general, no existen programas de mantenimiento. En el siglo XIV el aumento del transporte y del tránsito llega a un máximo y, a la vez, se inicia una rápida reducción debido a la erosión social y económica que mina la cimentación de la sociedad feudal.

Entre los factores que contribuyen a reducir el uso y tránsito de los caminos, podemos mencionar la escasa o nula protección a los viajeros, la multiplicación de los asaltantes, la gran peste en la región (1348-50) y la invasión de los turcos, en la parte sudoriental de Europa. Al concluir la guerra de los 100 años entre Inglaterra y Francia, en el siglo XV, la población y el tránsito vuelve a incrementarse. Para el siglo XVI la población de Europa se

duplica, surgiendo los primeros mapas de caminos y vuelve a aparecer el uso de vehículos, los que habían sido desplazados por el caballo y las bestias de carga, influyendo en la vida económica del continente Europeo. Los españoles inician la construcción de nuevas rutas en el recién descubierto continente Americano con el fin de extender su colonización y explotación de recursos en la Nueva España.

Durante los siglos XVI y XVII se manifiesta un auge en el uso de vehículos tirados por animales y aunque los gobiernos locales y las naciones no son fuertes, sus caminos incluso se incrementan. El inicio de la revolución industrial impulsa su uso. En el continente americano la carreta es introducida en el siglo XVI por el español Sebastián de Aparicio, quien construyó la primera carretera del Nuevo Mundo, entre México y Veracruz, aproximadamente entre los años 1540 y 1550. Más tarde el mismo personaje construyó la carretera México-Zacatecas, cabe destacar que uno de los puentes más antiguos aún existe, se encuentra aún en las proximidades de la carretera entre San Juan del Río y Tequisquiapan, Querétaro, aproximadamente unos 10 kilómetros de esta localidad.

La Era Moderna ha iniciado con el uso de la máquina de vapor, cuyo uso se amplía en el siglo XVIII. Esto impulsa el intercambio comercial y el tránsito a pesar del mal estado de los caminos, motivo que obliga el cobro de cuotas de peaje para su desarrollo construcción y mantenimiento. En América principalmente en los Estados Unidos el desarrollo de los caminos contribuye en buena medida a la expansión de su territorio y a su fortalecimiento económico. Los principales vehículos que se emplearon fueron las diligencias, que cobraron mayor auge en los primeros años del siguiente siglo-1800-1830- ampliando las zonas de influencia de la industria y el comercio.

Para el siglo XIX se inicia el empleo de vehículos de autopropulsión, empleando la fuerza del vapor. El ferrocarril de vapor inicia servicios comerciales en Inglaterra entre 1825 y 1830. A partir de 1837 el ferrocarril se desarrolla hasta ubicarse a la vanguardia como medio de transporte, incluso desplazando a los caminos a un segundo plano. A mediados del siglo pasado en los centros urbanos los sistemas de transporte público se basaron exclusivamente en los tranvías, que inicialmente eran propulsados por animales, posteriormente por tracción mecánica y para finales del siglo ya operaban con fuerza eléctrica, aunque en nuestro país todavía durante los primeros años del siglo XX los tranvías aún empleaban fuerza animal para moverse.

El tren subterráneo también conocido como metro inició a operar el 10 de enero de 1863 en la ciudad de Londres, Inglaterra la ciudad de Londres, Inglaterra la ciudad más poblada del mundo en esa época, durante la cual la Gran Bretaña era reconocida como uno de los países de mayor libertad comercial en toda Europa que se manifestó en integración de mercados, rápidos aumentos productividad, nuevas tecnologías de fabricación y el consiguiente desarrollo de su industria nacional. En los años 1867 y 1882 las ciudades de Nueva York y Chicago, construyeron sus respectivos trenes subterráneos.

Al final del siglo XIX hace su aparición el automóvil con motor de gasolina y su impulso como vehículo particular propicia la construcción y mejoras de los caminos, que por otra parte requieren de ciertas condiciones que hasta ese momento no se les había exigido, en razón de las características de los mismos vehículos.

Ciertamente podemos decir que el vehículo automotor nace con el siglo XX, ya que si bien apareció a finales del siglo XIX, en sus inicios fue considerado como un artefacto de lujo y deporte, además que encontró serios obstáculos por las malas condiciones de los

caminos y la existencia de leyes anacrónicas, poco acordes a las necesidades que su uso planteaba, no sólo a sus propietarios sino incluso a los gobiernos locales, además de la natural oposición de las empresas y los particulares habituados al ferrocarril y los carruajes tirados por animales, por lo que hubo de esperar para su florecimiento hasta principios del siglo XX

En resumen, el hombre apareció en la Tierra hace unos 100,000 años, sólo hace unos 10,000 años conoció la agricultura y apenas hace 6,000 años estableció los primeros centros de civilización urbana. Observamos también que la aparición del vehículo de combustión interna tal como ahora lo conocemos tiene tan sólo poco más de 100 años, esto representa apenas el 0.1 % del tiempo en la vida del ser humano. Concluimos entonces que el vehículo es una novedad recién incorporada a nuestra vida.

El primer registro de automóvil en nuestro país se realizó en el año de 1898 en la ciudad de Monterrey, N.L. por Andrés Sierra González quien lo condujo para su propietario el millonario Manuel Cuesta, de la población de El Paso, Texas y llevado a la ciudad de Guadalajara. El auto era francés, marca Delaunay Belleville, hecho a mano en las fábricas de Curvier, en Tolón

El impacto que recibió este medio de transporte puede verse claramente en el incremento tan extraordinario que ha tenido el número de vehículos a través de los años, según lo muestra la tabla 1, considerando el total de vehículos, que incluye automóviles, autobuses y camiones. Como puede observarse en 1898 se registraba el primer vehículo en México, mientras que en Estados Unidos ya se contaba con 800 vehículos. A partir de 1940 se tienen registros comparativos con el total en el mundo, marcando en este año para México 145,708 vehículos, para Estados Unidos 32,453,233 y para todo el mundo 45,422,411. Ya en el año 1989, se registraron en el mundo un total de 536,278,520 vehículos correspondiéndole a México 7,795,000 (el 1.45%) y a Estados Unidos 183,468,000 vehículos (el 34.21%) del total

Durante los últimos 80 años, prácticamente desde 1910, el vehículo de motor por su incremento vertiginoso ha experimentado cambios extraordinarios. Inició su vida siendo un artefacto de lujo y deporte, al que no se le daba mayor importancia; del que nadie imaginaba que llegaría a influir tanto en la economía del transporte.

El vehículo de motor ha mostrado sus cambios principalmente en su potencia, velocidad y comodidad. A través de su historia, la potencia del motor de gasolina se ha incrementado en una relación aproximada de 1 a 10. Esto por supuesto ha permitido incrementar su capacidad de carga. Hoy en día un gran porcentaje de los bienes y comestibles de las ciudades es transportado en camiones y la mayor parte de la población es transportada en autobuses y automóviles

La velocidad también ha variado extraordinariamente, al pasar del promedio de velocidad de 13 Kilómetros por hora en 1895 a una velocidad promedio actual de 200 Kilómetros por hora, o bien la velocidad promedio que pueden desarrollar los automóviles que superan 100 Kilómetros por hora, cuando no existen restricciones en la carretera. En materia de comunidad, el automóvil se ha transformado de un vehículo frágil, ruidoso, humeante y saltarín, en una cómoda herramienta en que el usuario recorre cientos de Kilómetros sin ruidos y mínima fatiga.

Como podemos ver entonces la presencia del vehículo en la humanidad es muy reducida si la comparamos con la presencia del hombre en la tierra, aunque los avances realizados en materia de construcción de caminos han sido vertiginosos atendiendo el desarrollo tecnológico de los automóviles como a sus propias necesidades.

1.1.2 Conceptos

La Ingeniería de Tránsito, se presenta en la actualidad como uno de los modos esenciales en la planeación y solución a los problemas viales de grandes urbes como la Ciudad de México. El Distrito Federal, ha tenido un desarrollo poblacional que sobrepasa la planeación de dichas vialidades, por lo que ahora, es indispensable buscar alternativas que desahoguen los conflictos de tránsito que se presentan diariamente y que se deben a tres factores básicos: La cultura y hábitos de los usuarios, las condiciones físicas de avenidas, calzadas, etc., y la mala o nula planeación de vías públicas.

Las siguientes definiciones citadas por W.S. Homburger, han sido tomadas del Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE), tienen la finalidad de ofrecer al lector una base que le permita iniciar con claridad la presente lectura.

- ◆ **Ingeniería de Transporte:** "Aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente".
- ◆ **Ingeniería de Tránsito:** "Aquella fase de la Ingeniería de Transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte".

El glosario de términos del Sistema Metropolitano de Transporte, ofrece las siguientes definiciones:

- ◆ **Tráfico:** Significa la acción de comerciar con bienes, que involucran movimiento o no
- ◆ **Tránsito:** Se refiere al desplazamiento físico de vehículos y/o peatones a lo largo de una vía pública
- ◆ **Transporte:** Es el Traslado de personas, animales y mercancías de un lugar a otro. En este último caso por su alcance puede ser: Urbano, suburbano, foráneo, regional, nacional e internacional. Por su utilización: Colectivo o individual; y por su elemento: de carga o de pasajeros

Como se puede apreciar, la Ingeniería de Tránsito es una disciplina de la Ingeniería de Transporte. Y el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito.

El Proyecto Geométrico de las calles y carreteras, es el proceso que ha de determinar la relación entre los elementos físicos de las calles y las características de operación de los vehículos. Es en este proceso donde el Agente de Tránsito requiere mayor información que le permita participar por su experiencia en campo, en la planeación o modificación de las calles para resolver los conflictos viales.

Es necesario resaltar que el Proyecto Geométrico requiere del uso de las Matemáticas, la Física y la Geometría, por consiguiente, una calle o carretera queda definida geoméricamente por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal), en perfil

(alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal. Lo que exige del trabajo de un especialista (Ingeniero de Tránsito), con quien sería ideal el Agente de Tránsito colabore para lograr a través de un grupo interdisciplinario el diseño de vías de comunicación que resuelvan no sólo los problemas actuales, sino, además, aquellos que se prevén en los próximos 25 años

2. PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO

Para fines de este curso, se decidió clasificar a los elementos del sistema de transporte urbano con base en varios aspectos. Por un lado están los usuarios del sistema, los cuales pueden caminar o ser ocupantes de vehículos particulares o de transporte público. Los vehículos utilizados varían según el medio de transporte y pueden circular por la vialidad urbana o por infraestructura propia alojada en un derecho de vía exclusivo. El concepto de demanda de transporte se trata desde el punto de vista de sus efectos en la operación del sistema de transporte urbano y de su variación diaria y cíclica. De esta manera, en las secciones subsecuentes se describen los siguientes componentes:

- El usuario.
- Los vehículos
- La infraestructura vial y de transporte público.
- La demanda de transporte.

2.1.1 El usuario.

De manera general, el usuario del sistema de transporte urbano es cualquier habitante de una ciudad que tiene la necesidad de desplazarse a diversos sectores de una zona urbana, como parte de sus actividades cotidianas. En este sentido, el usuario puede ser clasificado en las categorías siguientes

- Conductor de un vehículo de transporte particular o de una unidad de transporte público.
- Pasajero de un vehículo de transporte particular o de una unidad de transporte público.
- Peatón.

Aun cuando, desde el punto de vista del servicio, la función de un conductor de un vehículo particular es diferente a la de un conductor de una unidad de transporte público, en el proyecto de los diferentes elementos de la infraestructura vial se consideran parámetros similares para ambos casos. Desde luego, el comportamiento dependerá, en buena medida, del tipo de vehículo conducido (por ejemplo, automóvil, autobús, camión o bicicleta).

La infraestructura vial y de transporte público, así como los vehículos utilizados, se proyectan de acuerdo con las características particulares de los usuarios. Mediante un manejo eficiente del sistema de transporte urbano se logran desplazamientos rápidos y seguros de los usuarios

El sistema de transporte urbano debe tener como uno de sus objetivos fundamentales el proporcionar un servicio eficiente a una gran variedad de personas. Los usuarios

corresponden a diferentes estratos de la población, por ejemplo: niños, adultos, ancianos y personas con problemas físicos; conductores lentos y agresivos. En este sentido, el sistema de transporte urbano debe tener la flexibilidad suficiente para atender debidamente a los diferentes tipos de usuario

2.1 1 1 Comportamiento de los conductores

En el manual de proyecto geométrico de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de los E.U.A. (1984, p. 38-48) se presenta una descripción amplia sobre el comportamiento de los conductores, la cual fue tomada como punto de partida para redactar la presente sección. Es indispensable conocer las principales características de los conductores para lograr un proyecto y una operación eficaces de la infraestructura vial, sobre todo en lo relacionado con su interacción con el vehículo y el resto del tránsito

Un conductor se enfrenta a múltiples decisiones en un recorrido dado, las cuales son tomadas con base en su experiencia en situaciones similares y la influencia de una serie de factores externos, de cierta variabilidad, tales como la presencia de otros vehículos y las condiciones climatológicas

La información que percibe un conductor influye en su tiempo de reacción. En general, el tiempo de reacción aumenta con la complejidad de la decisión que se debe tomar y la información recibida. Cuando se espera o se prevé un suceso, tal como el cambio de luz en un semáforo, el tiempo de reacción es menor que ante una situación súbita e inesperada. En este segundo caso, el tiempo de reacción de los conductores puede variar de 1.0 a 4.5 segundos. Entre mayor sea el tiempo de reacción mayor será la probabilidad de cometer un error en la conducción de un vehículo. Por esta razón, en el proyecto de algunos elementos de la infraestructura vial se considera el tiempo de reacción del conductor. La respuesta de los conductores es muy variable y éstos se toman más tiempo cuando las decisiones son complejas o cuando se enfrentan a situaciones inesperadas. Normalmente se utiliza un tiempo de percepción-reacción de 2.5 s para calcular las distancias de frenado de los vehículos en el proyecto geométrico de algunos elementos de la infraestructura vial.

Según McShane y Roess (1990, p. 30), los tiempos de percepción-reacción de los conductores generalmente aumentan con los siguientes factores:

- Edad.
- Fatiga
- Complejidad de la conducción del vehículo y del entorno.
- Problemas físicos.
- Consumo de sustancias alcohólicas o drogas

Cuando una persona ha consumido sustancias alcohólicas o drogas antes de conducir un vehículo comúnmente no se percata que su tiempo de percepción-reacción aumenta a más tres veces el correspondiente a una condición normal. Ésta es una de las razones por las que se incrementa significativamente la probabilidad de accidentes viales, cuando una persona se encuentra en un estado inconveniente para conducir un vehículo.

La velocidad de circulación reduce el ángulo visual, restringe la visión periférica y limita el tiempo disponible para que un conductor reciba y procese información. El campo de visión aguda o clara, en el cual se pueden leer adecuadamente los textos en una señal vial, varía normalmente de 3 a 5 grados en el sentido vertical, con respecto a la línea central de los ojos. Para efectos de reconocimiento de formas y colores, el campo de visión aumenta entre 10 y 12 grados. El campo de la visión periférica varía entre 120 y 180 grados para la mayor parte de las personas. Estos aspectos deben ser considerados en el proyecto geométrico de la infraestructura vial y del señalamiento vial. Se deberá evitar saturar de información al conductor, con el fin de reducir la posibilidad de errores de su parte, pero al mismo tiempo se deberá proporcionar la información suficiente para auxiliario a guiar correctamente su vehículo.

2.1.1.2 Características básicas de los peatones

Desde el punto de vista de la ingeniería de tránsito, es importante considerar la presencia de los peatones en las inmediaciones de las intersecciones, utilizadas generalmente por éstos para cruzar la vía. El tiempo de cruce de los peatones es normalmente un parámetro con el que se fija el tiempo mínimo de luz verde de los semáforos.

Para fines del análisis de programación de los semáforos comúnmente se considera una velocidad en marcha de los peatones de 1.0 a 1.5 m/s y un tiempo de reacción de 5.0 a 7.0 segundos. De lo anterior, resulta que en vías anchas los tiempos mínimos de luz verde son relativamente largos, inclusive ante escasos flujos vehiculares. Aun cuando en ciertas horas se puede considerar ineficiente para los vehículos automotores este tipo de programación de los semáforos, la misma es necesaria para garantizar la seguridad de los peatones.

En el proyecto y la operación de la infraestructura vial se deben tomar en cuenta las características de diversos tipos de peatones. Normalmente, éstas quedan incluidas en los intervalos de valores indicados en el párrafo anterior para la velocidad de marcha.

En algunos casos en que se presentan elevados volúmenes peatonales y serios conflictos de los transeúntes con los vehículos automotores, puede ser necesario construir pasos peatonales a desnivel o implantar medidas específicas para garantizar la seguridad de las personas que circulan a pie.

2.1.2 Los vehículos.

De acuerdo con el manual de proyecto geométrico de la AASHTO (1984, p. 19-38) las características físicas de los vehículos y sus dimensiones son parámetros de control para el proyecto geométrico de la infraestructura vial. En general, se establecen vehículos representativos de cada categoría principal, a los cuales se les denomina vehículos de proyecto. Estos vehículos tienen el peso, las dimensiones y las características de operación utilizadas para fijar las variables de control para el proyecto de la infraestructura vial, de tal manera que representen a todos los vehículos de la categoría respectiva.

En cuanto a las categorías básicas de vehículos, la principal división utilizada es la de automóviles (o vehículos ligeros) y camiones (o vehículos pesados). La primera clasificación incluye a los vehículos compactos, así como a todos los vehículos ligeros y las camionetas. La categoría identificada genéricamente como "camiones" abarca a las unidades sencillas de camiones, los buses y las combinaciones de tractocamión con semirremolque. Para el

proyecto de cualquier elemento de la infraestructura vial normalmente se selecciona un vehículo crítico de cierta categoría.

☑ EL VEHÍCULO Y EL DISEÑO DE PROYECTO DE CALLES Y CARRETERAS.

➤ Características de los Vehículos de Proyecto.

Las normas que rigen el proyecto de calles y carreteras se fundamentan en gran parte en las dimensiones y características de operación de los vehículos que por ellas circulan

El vehículo de proyecto, es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, para que por éstas circulen los vehículos con seguridad.

En general, para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos de proyecto: los vehículos ligeros o livianos y los vehículos pesados, clasificados éstos en camiones y autobuses. Las principales características para su clasificación están referidas al radio mínimo de giro y aquellas que determinan las ampliaciones o sobreanchos necesarios en las curvas horizontales, tales como distancia entre ejes extremos, ancho total de la huella y vuelos delantero y trasero.

Las siguientes imágenes en conjunto con la tabla, muestran las características de los vehículos de proyecto que deben tomarse en cuenta en el proyecto geométrico de carreteras, calles e intersecciones

Figura 2.1. Vehículos de Proyecto

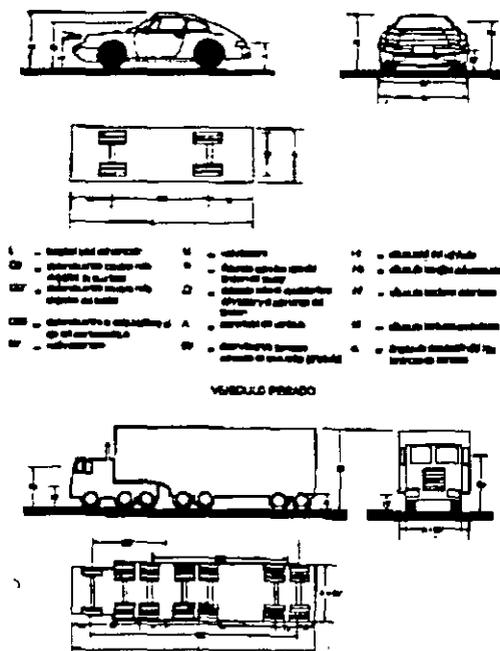


Tabla 1. Características de los vehículos de proyecto

Características de los vehículos	Símbolo	Vehículos de proyecto (m)					
		DE-735	DE-450	DE-810	DE-1220	DE-1525	
Longitud total del vehículo (m)	L	5.80	7.30	9.15	15.25	16.78	
Distancia entre ejes extremos del vehículo (m)	DE	3.36	4.50	6.10	12.20	15.25	
Distancia entre ejes extremos del tractor (m)	DET	-	-	-	3.97	9.15	
Distancia entre ejes del semirremolque (m)	DES	-	-	-	7.62	6.10	
Vuelo delantero (m)	Vd	0.92	1.00	1.22	1.22	0.92	
Vuelo trasero	Vt	1.53	1.80	1.83	1.83	0.61	
Distancia entre el eje tandem tractor (m)	Tl	-	-	-	-	1.22	
Distancia entre ejes tandem semirremolque (m)	ts	-	-	-	1.22	1.22	
Distancia entre ejes interiores tractor (m)	Dt	-	-	-	3.97	4.88	
Distancia entre ejes interiores semirremolque (m)	Ds	-	-	-	7.01	7.93	
Ancho total del vehículo (m)	A	2.14	2.44	2.59	2.59	2.59	
Entreje del vehículo (m)	EV	1.85	2.44	2.59	2.59	2.59	
Altura total del vehículo (m)	Ht	1.67	2.14-4.12	2.14-4.12	2.14-4.12	2.14-4.12	
Altura de los ojos del conductor (m)	Hc	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	
Altura de los faros delanteros (m)	Hf	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	
Altura de los faros traseros (m)	Hh	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	
Ángulo de desviación del haz de luz de los faros	α	1°	1°	1°	1°	1°	
Radio de giro mínimo (m)	Rg	7.32	10.40	12.81	12.20	13.72	
Peso total (kg)	Vehículo vacío	VW	2.500	4.000	7.000	11.000	14.000
	Vehículo cargado	Vc	5.000	10.000	17.000	25.000	30.000
Relación peso/potencia (kg/Hp)	W/P	45	90	120	180	180	

Vehículos representados por el día proyectado	Tipo	A		B		T2-S1		T2-S2		T3-S2	
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Porcentaje de vehículos del tipo indicado cuya distancia entre ejes extremos (DE) es menor que la del vehículo de proyecto	A	99	100	100		100		100		99	
	C2	30	90	99		100		100		100	
	C3	10	75	99		100		100		100	
	T2-S1	0	0	1		80		99		99	
	T2-S2	0	0	1		93	78	100		98	
T3-S2	0	0	1		18		90		90		
Porcentaje de vehículos del tipo indicado cuya relación peso/potencia es menor que la del vehículo de proyecto	A	98	100	100		100		100		100	
	C2	52	98	100		100		100		100	
	C3	20	82	100		100		100		100	
	T2-S1	6	86	100		100		100		100	
	T2-S2	6	42	98		98		98		98	
T3-S2	2	35	80		80		80		80		

Igualmente, podrán ser utilizados en aquellas áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga de carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sea ocasional.

Por lo general el vehículo pesado de proyecto se utiliza en terminales de pasajeros y de carga, donde se espera una alta circulación de autobuses y camiones, efectuando maniobras descenso y descenso de pasajeros y carga y descarga de mercancías. También se pueden utilizar en autopistas y arterias rápidas, siempre que sea grande el número de movimientos de vueltas

➤ **Radio y peralte de curvas.**

Las vueltas que se realizan a velocidades inferiores a los 15 km/h se consideran como vueltas a baja velocidad. Esta situación se presenta generalmente en intersecciones agudas, donde el radio de las curvas es controlado por las huellas de giro mínimas de los vehículos

Se consideran como vueltas a alta velocidad aquellas que efectúan a velocidades cercanas al 70% de la velocidad de proyecto. Esta condición se presenta en las curvas a campo abierto y en las curvas de los enlaces en intersecciones importantes, donde el radio de ellas es controlado por el peralte y la fricción lateral entre las llantas y la superficie de rodamiento. Cuando un vehículo cambia su trayectoria de movimiento rectilíneo, "se siente una fuerza" que tiende a conservar el movimiento en línea recta. A este impulso inicial se le llama erróneamente, *fuerza centrífuga*.

Un vehículo se sale de una curva por dos razones que pueden ocurrir independientemente, o simultáneamente: ya sea porque el peralte de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la fricción entre las ruedas y el pavimento falla y se produce el "derrape" o deslizamiento. Las principales causas por las que un vehículo derrapa en las curvas son debido al hielo, arena y agua sobre el pavimento. Cuando un vehículo se desplaza a lo largo de una curva horizontal, actúa sobre él la fuerza centrífuga que tiende a desviarlo hacia afuera de su trayectoria normal, y altera su movimiento en línea recta. Según las leyes de la dinámica, la magnitud de esta fuerza es:

$$(F = m \cdot a)$$

Donde

F = Fuerza centrífuga

m = Masa del vehículo.

a = Aceleración radial

La relación entre la masa m y la aceleración radial a es:

$$m = \frac{P}{g} \qquad a = \frac{v^2}{R}$$

Donde:

P = Peso de vehículo.

g = Aceleración debida a la gravedad.

v^2 = Velocidad del vehículo

R = Radio de la curva circular horizontal.

Por lo tanto,

$$F = m \cdot a = \frac{Pv^2}{g \cdot R}$$

En esta última expresión, se puede ver que para un mismo radio R , la fuerza centrífuga F es mayor si la velocidad v es mayor. Esto hace que el efecto centrífugo sea más notable. La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la fuerza de fricción F_t entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola, generalmente a velocidades altas, no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal. Por lo tanto, será necesario buscar un complemento, inclinando transversalmente la calzada. Esta inclinación denominada *sobreelevación*, junto con la fricción y el peso propio del vehículo, eliminan el efecto centrífugo, ofreciendo la estabilidad del vehículo en la curva.

La condición necesaria para que el vehículo no se deslice transversalmente, se plantea así: La resultante paralela al pavimento ($F_x - P_x$) actúa hacia la izquierda, por lo que debe ser contrarrestada por la fuerza de fricción transversal, F_t , entre las llantas y el pavimento, que actúa hacia la derecha. Esto es:

$$F_x - P_x = F_t$$

Pero también se sabe que,

$$\text{Fuerza de fricción} = \text{Fuerza normal} \cdot ft \quad (\text{ft, fuerza de fricción})$$

$$F_t = (F_x + P_x) f_t$$

Como es necesario fijar una sobreelevación máxima, s_{max} , se usa el 12% en aquellos lugares donde no existen heladas ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados en la corriente de tránsito es mínimo; se usa el 10% en lugares en donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados; se usa el 8% en zonas donde las heladas o nevadas son frecuentes y, finalmente, se usa el 6% en zonas urbanas.

En cuanto al proyecto geométrico en planta de la infraestructura vial, las principales variables revisadas son el radio mínimo de giro, el ancho y la longitud totales, así como la trayectoria del contorno externo del vehículo de proyecto al dar un giro. Desde luego, normalmente se utilizan a los camiones para estos fines, dado que estos vehículos son los que requieren de mayores dimensiones al circular, principalmente en las maniobras de giro.

Las tasas de aceleración y desaceleración de los vehículos pesados a menudo rigen como parámetros críticos para el proyecto de ciertos elementos de la infraestructura vial. Estas variables se utilizan frecuentemente para establecer las dimensiones de elementos tales como las intersecciones, los enlaces de acceso a las vías rápidas, los carriles adicionales para tramos con pendientes positivas prolongadas, y las "bahías" para las paradas de buses, en las que se realiza el ascenso y descenso de pasajeros. En el caso de los camiones, las altas relaciones peso/potencia se traducen en las condiciones más desfavorables de operación y generalmente se presentan en los vehículos sobrecargados que exceden los límites legales de peso.

La presencia de vehículos con diferentes capacidades de aceleración en el tránsito mixto es una causa frecuente de que no se logre un manejo eficiente de la infraestructura vial. Estos problemas se perciben más claramente en las intersecciones semaforizadas en que se presenta una alta proporción de vehículos pesados en el tránsito y se agravan aun más en el caso de tramos con pendiente longitudinal positiva.

Dependiendo de la relación peso/potencia de los camiones, se establece la longitud máxima de los tramos con pendiente positiva. Esta longitud debe ser tal que no se presente una disminución excesiva en la velocidad de circulación del vehículo pesado de proyecto. En las normas de proyecto geométrico es común que se especifique una longitud crítica para los tramos con pendiente positiva. En aquellos casos en que se registran elevados volúmenes de vehículos pesados, se puede construir un segundo carril de ascenso para que los demás vehículos mantengan una velocidad aceptable de circulación.

2.1.3 La infraestructura vial y de transporte público.

Los vehículos particulares circulan por la vialidad urbana y las carreteras. En general, los autobuses de transporte público también utilizan la misma infraestructura, aunque en algunas ocasiones disponen de vías o carriles exclusivos. Los medios de transporte público para grandes volúmenes de pasajeros, tales como el tren ligero o el metro normalmente circulan por infraestructura propia y separada del resto del tránsito vehicular.

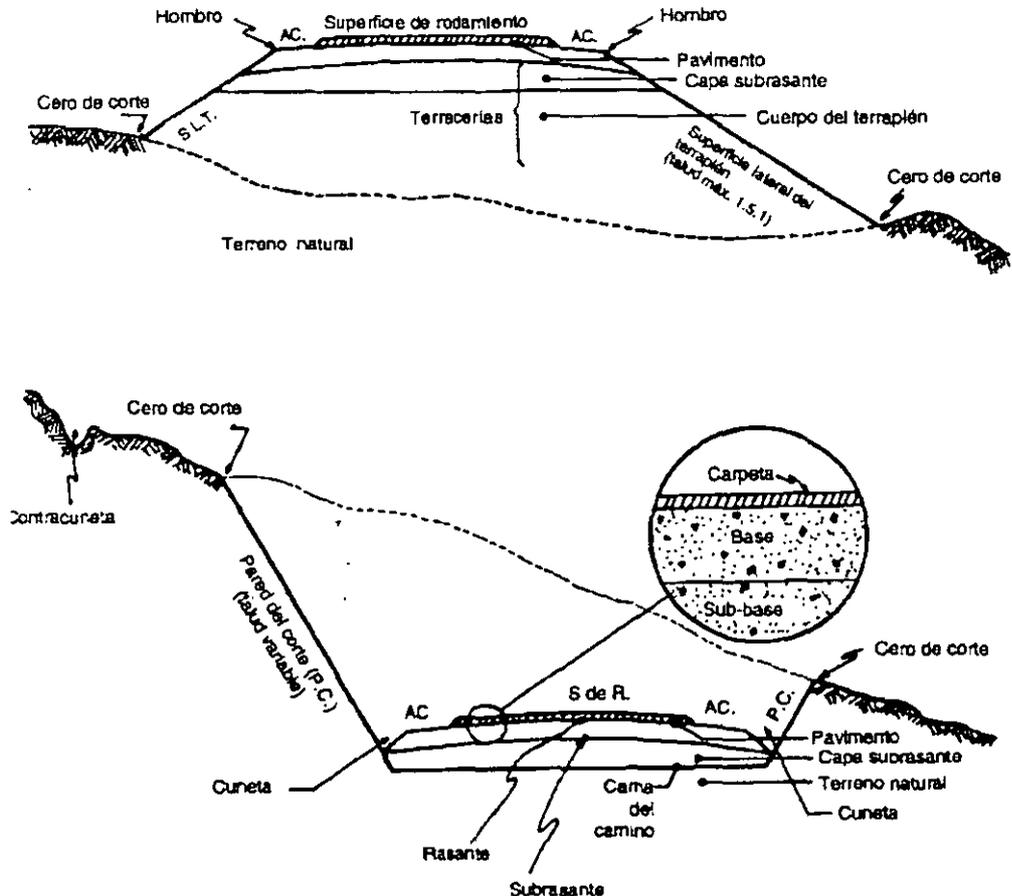
El derecho de vía del transporte público puede ser compartido, semiexclusivo y exclusivo. El primer caso corresponde a los autobuses que utilizan la infraestructura vial para circular y la comparten con los otros tipos de vehículo. Los carriles y vías exclusivos son ejemplos del derecho de vía semiexclusivo, en los que existe un control del acceso, pero se aprovecha la vialidad existente. El metro y los trenes interurbanos generalmente circulan por derecho de vía exclusivo.

2.1.3.1 Partes integrantes del camino y especificaciones de la sección transversal y el alineamiento

La estructuración de los caminos debe hacerse de manera que los esfuerzos que lleguen a los materiales con que están construidas sean menores que los que pueden resistir, sin fallas ni deformaciones apreciables.

Las secciones transversales típicas de una vía terrestre son tres: en terraplén, en cajón y en balcón o mixta.

Figura 2.2 Sección transversal típica en corte



Olivera Bustamante Fernando ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES Mexico, 1996

Una terracería es el volumen de materiales que es necesario excavar y que sirve como relleno para formar la obra

Las terracerías tienen dos partes la inferior o cuerpo del terraplén y la superior o capa subrasante, con un espesor mínimo de 30 cm y que se coloca independientemente de la sección tipo que se tenga. El material de esta capa debe cumplir con normas de resistencia mínima, expansión mínima y otras características acordes con las funciones que tendrá la estructura. El uso de la capa subrasante es una aportación de la ingeniería mexicana de vías terrestres a la práctica mundial.

Cuando los caminos tienen un volumen de tránsito mayor que 5 000 vehículos diarios, los 50 cm superiores del cuerpo del terraplén forman la capa subyacente.

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda.

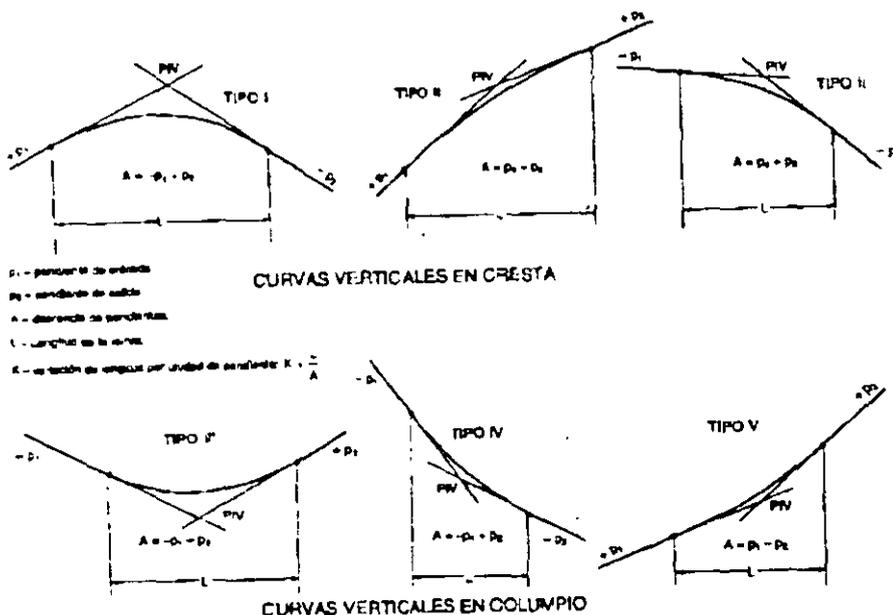
- Alineamiento vertical

El alineamiento vertical es la proyección del desarrollo del centro de línea de una vía terrestre sobre un plano vertical; sus elementos son las tangentes verticales y las curvas verticales

Las tangentes verticales están definidas por su longitud y su pendiente (la longitud del proyecto geométrico es la distancia horizontal entre sus extremos). La prolongación hacia delante de una tangente y la prolongación hacia atrás de la tangente siguiente se cortan en un punto de inflexión vertical (PIV), cuyos elementos son el cadenamiento y la elevación

Para proyectos del alineamiento vertical se definen tres tipos de pendientes de las tangentes verticales mínima, gobernadora y máxima. La mínima se requiere para asegurar el drenaje de la corona del camino y se especifica de 0.5%. La pendiente gobernadora, en teoría, se puede mantener en forma indefinida a lo largo de todo el trazo. La pendiente máxima es la mayor que se puede usar en un proyecto. Las pendientes mayores que la gobernadora, incluyendo por supuesto a la máxima, sólo se pueden usar en las longitudes críticas, tanto la pendiente gobernadora como la máxima se especifican en función del tipo de camino y de la topografía de la zona. De hecho el proyecto del alineamiento vertical estará constituido por una combinación de pendientes verticales que dentro de las alternativas estudiadas, hará que el tiempo de recorrido sea el menor.

Figura 2.3 Forma de curvas verticales y sus elementos .



Olivera Bustamante Fernando ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES Mexico, 1996

2 1.3.2 Principales características de la vialidad urbana

El propósito de este numeral es el de presentar los lineamientos generales del diseño de los elementos de infraestructura vial urbana (vías, intersecciones y demás elementos de infraestructura de tránsito y transporte) tratados en forma introductoria, sin abordarlos en forma exhaustiva. Es decir que se darán los elementos estrictamente indispensables para la solución de los problemas cotidianos según los criterios más frecuentes entre los especialistas del ramo. Este tema es muy complejo para poder abarcar en detalle los criterios y lineamientos de diseño.

Es necesario llamar la atención hacia la necesidad de ampliar las perspectivas en el proceso de comprensión de la problemática del diseño de los elementos viales, ya que facilita la comunicación entre ingenieros, administradores viales y el público en general. Inicialmente es necesario hacer una clasificación y/o jerarquización de las vías, la cual se puede enfocar desde diversos puntos de vista, a saber:

- Clasificación por las características geométricas. Infiuye en el tipo de diseño
- Clasificación por numeración de rutas para la operación del transporte
- Clasificación administrativa para la asignación de responsabilidad y financiamiento
- Clasificación funcional, según el carácter del servicio que prestan al tránsito.

Esta última clasificación es la más común, por lo que se utiliza para los propósitos ingenieriles. En este numeral se presentarán las categorías de vías urbanas corrientemente utilizadas según criterio de la AASHTO.

- **El concepto de la clasificación funcional**

El sistema de clasificación funcional agrupa las vías y avenidas de acuerdo con el carácter del servicio que proporcionan según la categoría de los viajes y se basa en la jerarquía de sus movimientos y sus componentes. En la mayoría de los viajes, los movimientos realizados pasan por seis etapas: 1) Principal, 2) Transición, 3) Distribución, 4) Recolección, 5) Acceso y 6) Terminación.

En una red vial donde se pueden observar las diferentes etapas de los viajes, si se supone que inicialmente el viaje viene por una autopista donde los movimientos de los vehículos son ininterrumpidos y a alta velocidad (*movimiento principal*), al acercarse a su destino, el vehículo reduce la velocidad en las rampas de la autopista (carriles de deceleración), que actúa como calzada de *transición*. Los vehículos entran luego a vías arterias (infraestructura de *distribución*) a velocidades moderadas que lo acercan a su destino. Luego entran a una vía *colectora* que lo introduce al vecindario y finalmente entra a una vía de *acceso local* que lo lleva directamente a las residencias individuales o a un punto *terminal* apropiado, donde estaciona el vehículo. Para cada etapa del viaje se diseña una infraestructura específica para que cumpla su función. La jerarquía de los movimientos se basa en la intensidad del tránsito, la cual es máxima en las autopistas y mínima en las vías locales.

Muchas veces no se necesitan las instalaciones intermedias, pero se debe garantizar la funcionalidad del sistema, pues de lo contrario se presentarán conflictos y congestiones, especialmente en los puntos, donde son inadecuadas las transiciones. Cada categoría funcional también está relacionada con un rango de velocidades. La necesidad del

diseño para todas las etapas de la jerarquía del movimiento varía con el tamaño del generador del tránsito. Para los generadores relativamente pequeños, se pueden acomodar dos o más etapas en una misma instalación, mientras que para los grandes generadores de tránsito cada etapa de movimiento debe tener una instalación funcional separada.

En áreas urbanas y suburbanas puede definirse un sistema jerárquico, sin embargo debido a alta intensidad de viajes y de uso del suelo, los centros generadores de viaje son más difíciles de identificar, por lo que se deben hacer consideraciones adicionales tales como separación entre intersecciones para definir una red eficiente y lógica. Las dos mayores consideraciones en la clasificación de redes de vías y autopistas desde el punto de vista funcional son el acceso y la movilidad. El conflicto entre servir los movimientos de paso a través de la red y de suministrar acceso a un patrón disperso de viajes origen - destino necesita de las diferencias y los matices de varios tipos funcionales de vías. Es necesario imponer restricciones reguladas de acceso en las arterias para facilitar su función primaria de movilidad. A la inversa, la función primaria de las vías locales para suministrar acceso causa una limitación de la movilidad. El alcance y el grado de control de acceso es un factor significativo en la definición de la categoría funcional de la vía o autopista.

Las funciones o roles fundamentales que deben cumplir cada uno de los tipos de vías urbanas son los siguientes:

- *Acceso* a la propiedad. Es un requerimiento fijo de un área determinada.
- *Movilidad* de viaje. Se puede proporcionar a diferentes niveles de servicio, incorporando varios elementos cualitativos, tales como la comodidad del viaje y la ausencia de cambios de velocidad, pero los factores básicos son la velocidad de operación y el tiempo de viaje.

Como se puede deducir, las arterias que sirven a los movimientos principales o de distribución se caracterizan por el alto nivel de movilidad para los movimientos de paso a través de la ciudad. Las vías colectoras ofrecen aproximadamente un servicio balanceado para las dos funciones, y las vías locales prestan un servicio de acceso a las propiedades. Las áreas rurales y urbanas tienen básicamente características diferentes debido a la densidad y tipos de usos del suelo, a la densidad de la red de vías y autopistas, a la naturaleza de los patrones de viaje y a la manera como se interrelacionan.

En resumen, la mayor parte de los viajes de una zona urbana se efectúan a través de la vialidad urbana, la cual está compuesta por una serie de tramos viales y de intersecciones de diferentes tipos. Por lo tanto, desde el punto de vista funcional, una red vial está compuesta por los siguientes tipos de sistemas de vías:

- Sistema arterial principal urbano
- Sistema arterial secundario urbano
- Sistema de vías colectoras
- Sistema de vías locales
- Vías marginales paisajísticas
- Vías semipeatonales

- Vías peatonales
- Ciclovías

En cada ambiente urbano, se puede identificar un sistema de vías y autopistas en términos de la naturaleza y composición del tránsito que sirve, el volumen de viajes y la longitud dentro de toda la red vial urbana. En el Cuadro 2.1 se muestra la distribución típica de viajes y longitud de las calzadas del sistema funcional para áreas urbanizadas, expresados en porcentaje respecto al total, según el criterio AASHTO.

Cuadro 2.1 Distribución típica de los sistemas funcionales urbanos.

Sistemas Viales	Rango	
	Volumen de viajes (%)	Longitud (%)
Sistema arterial principal	40 – 65	5 – 10
Sistema arterial principal más secundario	65 – 80	15 – 25
Sistema de vías colectoras	5 – 10	5 – 10
Sistema de vías locales	10 – 30	65 – 80

FUENTE: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. A Policy on Geometric Design of Highways and streets. Washington D.C. AASHTO, 1995. p.15

- ***Sistema arterial principal urbano***

Este sistema incluye las vías de mayor jerarquía dentro de la red vial urbana y corresponden a los corredores de mayor volumen de tránsito y a los deseos de viajes más largos que llevan una proporción alta del total de viajes del área urbana, aún cuando constituya un porcentaje relativamente pequeño de la red de vías de la ciudad. Por estas vías se realizan la mayoría de los viajes que entran y salen del área urbana, así como la mayoría de los movimientos de paso a través del centro de la ciudad, así como un número significativo de viajes internos entre los distritos centrales de negocios y áreas residenciales de las afueras de la ciudad entre las comunidades más grandes al interior de la ciudad y entre los mayores centros suburbanos. Transitan por ellas las rutas de buses intermunicipales y le dan continuidad a las vías rurales que interceptan el límite urbano.

La anterior situación suele provocar en estas vías problemas de congestión en los períodos de máxima demanda vehicular. En las arterias viales de primer orden algunas veces se dispone de tramos con acceso controlado, aunque normalmente existen intersecciones semaforizadas en las que se incorpora o sale el tránsito vehicular hacia otras vías. Es común encontrar prohibiciones de estacionamiento a lo largo de las arterias viales, con el fin de aprovechar plenamente la sección transversal disponible para alojar carriles de circulación.

Las vías rápidas de acceso controlado (autopistas) son normalmente carreteras urbanas de carriles múltiples por las que circulan elevados volúmenes de tránsito. Los accesos y salidas de estas vías se efectúan generalmente en sitios específicos por medio de carriles exclusivos. Las intersecciones con otras vías son a desnivel, con lo que se evitan conflictos con otros flujos importantes y se garantiza la continuidad del tránsito vehicular. En algunos casos las vías rápidas de acceso controlado se clasifican como parte de la vialidad primaria de una ciudad. El principal objetivo de las vías rápidas es el de proporcionar un servicio eficiente a los viajes de mayor longitud en una zona urbana.

El espaciamiento entre las arterias principales urbanas está en función de las características de densidad en el área particular de terminación del viaje. Aunque no se aplican reglas de espaciamientos, los valores normales oscilan entre un (1) kilómetro en las áreas urbanas centrales altamente densificadas hasta ocho (8) kilómetros o más en zonas urbanas escasamente desarrolladas.

Se espera que las arterias tengan un alto grado de movilidad para los viajes de mayor longitud. Por eso, se debe ofrecer altos valores de velocidad de operación y de niveles de servicio. Las autopistas no son por sí mismas, una clase funcional, pero normalmente se clasifican como arterias principales, aunque tiene un criterio geométrico único y separado de las otras arterias.

En áreas urbanas pequeñas (población menor a 50.000 habitantes), estas instalaciones están limitadas en número y extensión, y su importancia se deriva principalmente por el servicio proporcionado para los viajes de paso, al tránsito hacia las afueras de la ciudad y al tránsito atraído y generado dentro de la zona de influencia

- **Sistema arterial secundario urbano.**

Este es un sistema que se interconecta con el sistema arterial principal y acomoda los viajes de moderada longitud a un nivel un poco más bajo de movilidad que las arterias principales. Este sistema densifica la red vial urbana y distribuye los viajes a áreas geográficas más pequeñas. Puede llevar rutas locales de buses y proporcionan continuidad entre los barrios, pero idealmente no penetra a los vecindarios específicos. El sistema incluye conexiones urbanas a las vías colectoras rurales donde tales conexiones no han sido clasificadas como arterias principales urbanas.

El espaciamiento de las vías arterias secundarias puede variar desde 0.2 km a 1 km en el área central de negocios de mayor actividad, hasta valores de 3 a 5 km en las franjas suburbanas, aunque normalmente no es mayor a 2 km en las áreas completamente desarrolladas.

- **Sistema de vías colectoras urbanas**

Este sistema suministra servicios de acceso a las propiedades y facilidad de circulación al tránsito dentro de las áreas residencial, comercial e industrial. Difiere del sistema arterial, en que las instalaciones del sistema colector puede penetrar al vecindario residencial, distribuir los viajes que vienen desde las arterias a través del área hasta su destino final. Las vías colectoras también recogen el tránsito de las vías locales en los vecindarios residenciales y lo canaliza hacia el sistema arterial. Una definición de una vía colectoras puede hacerse refiriéndose a sus límites superior e inferior, las vías arterias y las vías locales. La vía colectoras está entre estos dos límites; tienen funciones duales, ya que sirven tanto para acomodar los viajes más cortos y alimentar las arterias, como para proporcionar algún grado de movilidad y servir a las propiedades colindantes de uso homogéneo del suelo.

En el área central de negocios de mayor actividad y en otras áreas de desarrollo y de densidad de tránsito similar, el sistema colector puede contener la red completa de vías y llevar rutas urbanas de buses.

- **Sistema de vías locales.**

Este sistema comprende todas las vías no incluidas en los sistemas de mayor jerarquía y tiene como función básica permitir el acceso directo a las residencias, negocios o propiedades colindantes. Las vías locales ofrecen el menor nivel de movilidad y menores velocidades; el volumen de tránsito generado por los usos del terreno aledaño corresponden a viajes cortos y usualmente no transitan rutas de buses y no tienen continuidad, lo que desestimula el tránsito de paso, pero sirven de conexión con las vías colectoras o de mayor jerarquía.

De acuerdo con el uso del suelo predominante, las vías locales pueden ser subclasificadas en residenciales o habitacionales, industriales y comerciales. En general, no existen prohibiciones importantes de estacionamiento en las vías locales, siempre y cuando se disponga de cuando menos un carril por sentido de circulación para el tránsito vehicular.

De acuerdo con la clasificación funcional varían las especificaciones de proyecto y operación de las vías urbanas. Al respecto, las vías primarias y las arterias viales tienen las especificaciones geométricas más estrictas, dado que se permite una mayor velocidad del tránsito vehicular que en las vías colectoras y locales, además que las mismas dan servicio a mayores volúmenes de tránsito.

Además de las vías mencionadas, existen otras vías de menor jerarquía, las cuales se describen a continuación de acuerdo con la clasificación vial dada por Arboleda, Vélez German (Vías Urbanas, 1984 p. 3):

- **Vías marginales paisajísticas.**

Corresponden a aquellas vías paralelas a los ríos que delimitan las zonas de protección de ríos, con características particulares, o localizadas en áreas con visuales paisajísticas de interés. Cumplen funciones básicamente recreacionales y de proyección ecológica, con velocidades e intensidades bajas.

- **Vías semipeatonales.**

Corresponden a aquellas vías donde predomina el uso peatonal sobre el vehicular, para lo cual solo se permite un carril vehicular mínimo de 3.0m de ancho, con bahías para el ascenso y descenso de pasajeros, separadas entre sí como mínimo cada 50m. Estas vías se usan principalmente en las zonas céntricas de la ciudad donde los volúmenes peatonales son altos y existe restricción parcial de acceso de los vehículos automotores a través de la limitación de las características geométricas. Al menos uno de los andenes presentan anchos mayores o iguales a 3.0m

- **Vías peatonales.**

Son aquellas vías destinadas exclusivamente al uso de los peatones, o con una circulación restringida de vehículos automotores, los cuales deben operar a velocidades bajas y en determinados horarios. En un área exclusivamente residencial, la distancia máxima entre vías peatonales debe ser 100m.

- **Ciclovías.**

Son vías destinadas única y exclusivamente para la circulación de bicicletas.

En cuanto al transporte público, este suele recibir un tratamiento preferencial en muchas ciudades, a tal grado que se le asignan carriles y vías exclusivas. En este caso, se toman en cuenta las características particulares de la operación de los buses para el proyecto de los elementos de la infraestructura vial que serán utilizados por las unidades de transporte público.

A lo largo de las vías en que se registre una actividad peatonal importante se deben proporcionar andenes de ancho suficiente. Asimismo, es recomendable encauzar los cruces peatonales en las intersecciones. En sitios donde se presentan conflictos importantes entre los peatones y el tránsito vehicular es normal que se instalen barreras en los límites de los andenes para asegurar que los peatones crucen la vía por los lugares permitidos. En la zona central de las ciudades también es común que se hagan modificaciones a los andenes y sardineles para facilitar la circulación de personas que se desplazan en sillas de ruedas en los sitios permitidos para el cruce de peatones en las intersecciones.

2.1 3.3 Dispositivos para el control del tránsito

Otro elemento crítico para regular la operación de la infraestructura vial corresponde a los dispositivos para el control del tránsito, los cuales pueden ser agrupados en las dos categorías siguientes: señalamiento vial y semáforos. Según el Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. (1978), el propósito del señalamiento vial y de los semáforos es el de ayudar a garantizar una operación segura de la infraestructura vial; al facilitar el movimiento ordenado de todo el tránsito, motorizado y no motorizado. Un dispositivo eficaz para el control del tránsito debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Responder a una necesidad
- Atraer la atención
- Transmitir un significado claro y sencillo.
- Inspirar respeto por parte de los usuarios de la infraestructura vial
- Permitir el tiempo suficiente para una respuesta correcta.

Las condiciones anteriores se cumplen a través de la observancia de los criterios siguientes: proyecto, colocación, operación, mantenimiento y uniformidad. En este sentido, existen normas específicas para estas actividades en el caso del señalamiento vial y de los semáforos.

El señalamiento vial normalmente se divide en vertical y horizontal. El primero consiste en figuras o dibujos especiales presentados en tableros de diferentes formas. Los tableros pueden quedar instalados en un poste propio o en postes utilizados para otros fines. De acuerdo con su función, el señalamiento vertical es clasificado en los tipos siguientes:

- **Restrictivo** Se refiere a ordenamientos legales para reglamentar el tránsito vehicular, tales como límites de velocidad y prohibición de giro, entre otros.

- Preventivo Sirve para advertir de situaciones que son potencialmente peligrosas para la operación del tránsito, por ejemplo, reducción del número de carriles, cruces de ferrocarril, etc.
- Informativo Tal como su nombre lo indica, este señalamiento proporciona información sobre la infraestructura vial, los destinos y servicios diversos, entre otros aspectos

En algunos casos, también se establece una clasificación adicional para el señalamiento vertical y que corresponde al empleado en obras y trabajos de mantenimiento y construcción de la infraestructura vial. Para distinguirlo de los otros tipos de señalamiento vertical, normalmente se utiliza un fondo de color naranja en los tableros.

El ingeniero de tránsito generalmente es el encargado de asegurar la necesidad y efectividad de los dispositivos de control. Existen cuatro consideraciones básicas para asegurarse que los dispositivos de control sean efectivos, entendibles y satisfagan los requisitos fundamentales anteriores. Estos factores son:

- *Proyecto*: la combinación de las características tales como forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deberán llamar la atención del usuario y transmitir un mensaje simple y claro
- *Ubicación*: el dispositivo de control deberá estar ubicado dentro del cono visual del conductor, para llamar la atención, facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad de su vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.
- *Uniformidad*: los mismos dispositivos de control o similares deberán aplicarse de manera consistente, con el fin de encontrar igual interpretación de los problemas de tránsito a lo largo de una ruta
- *Conservación*: los dispositivos deberán mantenerse física y funcionalmente conservados, esto es, limpios y legibles, lo mismo que deberán colocarse o quitarse tan pronto como se vea la necesidad de ello.

Por lo tanto, al proyectar dispositivos de control del tránsito, lo más importante es lograr la uniformidad de formas, tamaños, símbolos, colores, ubicación, etc., de manera que satisfagan una necesidad, llamen la atención, impongan respeto y transmitan un mensaje claro y legible

Señales Preventivas

Las señales "preventivas" avisan de un posible riesgo por un cambio en el camino. Previenen un accidente indicando las curvas, los cruces y los entronques, los puentes angostos, la presencia de peatones, etc.

Las señales preventivas deberán instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial. Las características que pueden justificar el uso de señales preventivas, son las siguientes:

- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical por la presencia de curvas
- Presencia de intersecciones con carreteras o calles, y pasos a nivel con vías de ferrocarril
- Reducción o aumento del número de carriles y cambios de anchura del pavimento
- Pendientes peligrosas
- Proximidad de un cruce donde existe un semáforo o donde se debe hacer un alto

- Pasos peatonales y cruces escolares
- Condiciones deficientes en la superficie de la carretera o calle, como presencia de huecos y protuberancias.
- Presencia de derrumbes, grava suelta, etc.
- Aviso anticipado de dispositivos de control por obras de construcción

La ubicación de las señales preventivas en sentido longitudinal será antes del riesgo que se trate de señalar, a una distancia que depende de la velocidad de aproximación. En sentido lateral las señales se fijarán en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras o sobre la banqueta en calles.

Señales Restrictivas

Las señales restrictivas recuerdan alguna restricción física o reglamentaria, tales como la altura libre de un paso inferior bajo una estructura, el límite de velocidad admisible o la prohibición de estacionamiento. En general, tienden a restringir algún movimiento del mismo, recordándole la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Infringir indicaciones de una señal restrictiva acarreará las sanciones previstas por las autoridades de tránsito.

Las señales restrictivas de acuerdo a su uso se clasifican en los siguientes grupos:

- De derecho de paso o de vía
- De inspección
- De velocidad máxima o mínima
- De movimientos o circulación
- De mandato por restricciones y prohibiciones
- De estacionamiento

La ubicación longitudinal de las señales restrictivas será en el punto mismo donde existe la restricción o prohibición. En sentido lateral las señales se fijarán en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras y sobre la banqueta en calles.

Señales Informativas

Las señales "informativas" proporcionan el dato de distancias respecto a los destinos, dirección de circulación, servicios existentes a lo largo del camino y demás. Las señales informativas, de acuerdo a la información que den, se clasifican en:

- De identificación
- De destino
- De recomendación e información general
- De servicio y turísticas, de servicios y turísticas

Por su finalidad, se comprende que no sólo es indispensable que el usuario perciba el mensaje y cumpla con el mismo. Es necesario que el señalamiento sea el apropiado y tenga una conservación adecuada. Pero, sobre todo, debe ser respetado por los usuarios.

Señalamiento Horizontal

El señalamiento horizontal consiste en marcas hechas con pintura sobre la superficie del pavimento. El color más utilizado para el señalamiento horizontal es el blanco. Como

ejemplos del señalamiento horizontal se pueden citar las marcas siguientes: rayas separadoras de carril, zonas de cruce de peatones, flechas de sentido de circulación y textos de los carriles exclusivos para buses, entre otras. En algunas ocasiones, también se colocan marcas en los sardineles de los andenes para indicar la prohibición del estacionamiento.

Los semáforos generalmente se instalan en las intersecciones y se utilizan en aquellos casos en que no se puede lograr un control eficiente y seguro del tránsito vehicular y/o peatonal por medio del señalamiento vial. Son dispositivos que proporcionan indicaciones visuales para el control del tránsito de vehículos y peatones en intersecciones. Las indicaciones se hacen a través de lentes con luces de colores diferentes. El color verde corresponde a la indicación de "siga" y el color rojo a "pare"; el color ámbar normalmente sirve de transición entre las fases de "siga" y "pare". Los lentes con luces de colores diferentes se ordenan vertical u horizontalmente en una secuencia convencional y preestablecida. Las maniobras protegidas de giros derechos e izquierdos se indican por medios de lentes en los que aparece una flecha.

En las redes viales urbanas, normalmente los puntos más críticos, desde el punto de vista de la operación del tránsito, son las intersecciones con semáforos. Dado que el manejo del tránsito depende, en buena medida, de estos dispositivos, es necesario implantar una supervisión continua para garantizar su buen funcionamiento. De manera ideal, la programación de los semáforos se debería adaptar dinámicamente a las variaciones de los flujos vehiculares; sin embargo, en la práctica, los controladores de los semáforos algunas veces permiten una sola programación a lo largo del día, con lo cual se dificulta alcanzar un manejo eficiente del tránsito. Básicamente, existen tres tipos de operación de los controladores, desde el punto de vista de las programaciones disponibles:

- **Operación preprogramada.** Se utilizan uno o más planes de programación en periodos preestablecidos del día. Normalmente a cada plan corresponde una duración de ciclo diferente y una combinación específica de tiempos de luz verde, ámbar y roja de cada una de las fases consideradas en cada una de las programaciones. Los controladores antiguos de este tipo solamente permiten una programación a lo largo del día.
- **Programación parcialmente accionada por el tránsito.** Generalmente se emplea en intersecciones aisladas en las que el tránsito de la vía secundaria varía mucho a lo largo del día y es de poca magnitud. Esta vía recibe la indicación de luz verde por un tiempo mínimo preestablecido cuando se detecta la llegada de uno o más vehículos. La vía secundaria puede retener el tiempo de luz verde hasta una duración máxima preestablecida, en caso de que se registre la llegada de vehículos adicionales.
- **Programación completamente accionada por el tránsito.** En este caso se dispone de detectores en todos los accesos de la intersección. Normalmente se especifican los tiempos mínimo y máximo de luz verde de cada fase, así como la secuencia de fases. La programación varía continuamente en función de la demanda registrada en los detectores.

En general, los semáforos peatonales tienen dos lentes, uno de color rojo y otro de color verde. Por medio de una indicación de color rojo intermitente, se avisa a los peatones que deberán acelerar su paso para cruzar la intersección o esperar al ciclo siguiente para efectuar esta maniobra.

En una intersección convencionalmente se recomienda colocar dos caras de semáforo para cada acceso. Esos elementos deberán ser ubicados en lugares con buena visibilidad para los diferentes tipos de vehículos que circulen por la vialidad.

Obras y Dispositivos diversos

Son obras que se construyen y/o dispositivos que se colocan dentro de una calle o carretera o en sus inmediaciones para protección, encauzamiento y prevención de conductores de vehículos y peatones.

De acuerdo a su función, se clasifican en cercas, defensas, indicadores de obstáculos, indicadores de alineamiento, tachuelas o botones, reglas y tubos guía para vados, bordos, vibradores, guardaganados e indicadores de curva peligrosa.

Dispositivos para protección en obras

Los dispositivos para protección en obras son las señales y otros medios que se usan transitoriamente para proporcionar seguridad a los usuarios, peatones y trabajadores y guiar el tránsito a través de calles y carreteras en construcción o conservación.

Se clasifican en señales preventivas, restrictivas, informativas, canalizadores y señales manuales.

Las señales preventivas se utilizarán para prevenir a los usuarios sobre la existencia de una situación peligrosa y la naturaleza de ésta, motivada por la construcción o conservación de una calle o carretera, así como proteger a peatones, trabajadores y equipo de posibles accidentes.

Las señales restrictivas se emplearán para indicar a los conductores ciertas restricciones y prohibiciones que regulan el uso de las vías de circulación en calles y carreteras que se encuentren en proceso de construcción o conservación.

Las señales informativas tendrán por objeto guiar a los conductores en forma ordenada y segura, de acuerdo con los cambios temporales necesarios durante la construcción o conservación de calles y carreteras.

Los canalizadores son elementos que se usan para encauzar al tránsito de vehículos y peatones a lo largo de un tramo en construcción o conservación, tanto en calles como en carreteras, para indicar cierres, estrechamientos y cambios de dirección de la ruta con motivo de la obra. Se clasifican en barreras, conos, indicadores de alineamiento, marcas en el pavimento, dispositivos luminosos e indicadores de obstáculos. Los dispositivos luminosos, como mecheros, linternas, lámparas de destello y luces eléctricas, se utilizarán durante la noche o cuando la claridad y la visibilidad disminuyan y se haga necesario llamar la atención e indicar la existencia de obstrucciones o peligros.

Las señales manuales son banderas y lámparas operadas manualmente que sirven para controlar el tránsito de vehículos y peatones en las zonas de trabajo.

2.1 3.4 Infraestructura para el transporte público

En general, las unidades de transporte público de los tipos autobús, buseta y colectivo circulan por la misma vialidad que el tránsito mixto. Sin embargo existen casos en que se

reservan carriles o vías exclusivamente para la operación de estos vehículos, como una medida de trato preferencial al transporte público de pasajeros. Un ejemplo concreto de este tipo de acciones es la Av. Caracas en la ciudad de Santa Fe de Bogotá; a lo largo de esta importante vía, se dispone de dos carriles de circulación por sentido en la parte central de la sección transversal, los cuales son utilizados por las unidades de transporte público. El resto del tránsito circula por las calzadas laterales.

Existen otros medios de transporte público con derecho de vía propio. Tal es el caso del metro y de los trenes ligeros. Los vehículos de estos medios normalmente son propulsados con energía eléctrica, la cual es alimentada a través de un cable aéreo o de una guía metálica longitudinal alojada en la zona de rieles. En la actualidad se dispone de una gran variedad de vehículos para los metros y trenes ligeros, con diferentes capacidades, disposición de los asientos, arreglos de puertas y sistemas de ruedas.

El transporte público generalmente circula por rutas con itinerario fijo. Un servicio eficiente incluye la utilización de paradas oficiales y la programación de las horas de paso de las unidades por estos puntos del itinerario. El intervalo de paso de las unidades por puntos preestablecidos de las rutas depende de la demanda de transporte existente a lo largo del día. En los periodos de máxima demanda normalmente se ofrecen los intervalos más cortos del día.

De acuerdo con el *Transportation and Traffic Engineering Handbook*, (1982, p. 185), desde el punto de vista de su configuración, las rutas pueden ser de los tipos siguientes:

- **Radiales** Generalmente tienen uno de sus extremos en el centro de la ciudad. Normalmente son la columna vertebral del sistema de transporte público y generalmente transportan al mayor número de pasajeros por unidad de longitud del itinerario.
- **Circulares**. Proporcionan el servicio entre diferentes zonas periféricas de una ciudad sin pasar por su centro. Algunas veces funcionan como rutas alimentadoras a las rutas radiales.
- **Tangenciales**. Normalmente son rutas cortas con un itinerario aproximadamente recto y que pasan a un lado del centro de la ciudad, en este sentido, su trazo es aproximadamente perpendicular al de las rutas radiales.
- **Alimentadoras**. Conectan a ciertas zonas periféricas con las rutas radiales. Corresponden a casos en que no es rentable la operación de una ruta larga hasta el centro de la ciudad.

En algunos casos, los trenes ligeros y los tranvías circulan en un carril dado de la infraestructura vial. En ciertas ocasiones el derecho de vía es exclusivo en una buena parte del itinerario, pero se interrumpe en las intersecciones a nivel con la red vial. Asimismo, existen casos en que estos medios de transporte prestan el servicio a lo largo de vías peatonales.

Además de la zona utilizada para la circulación de los vehículos, la infraestructura complementaria del transporte público está compuesta básicamente por los elementos siguientes (Moliner y Sánchez, 1996, p.111-207)

- Paradas. Normalmente se ubican en la vía pública, ya sea en un carril de circulación o en un carril de estacionamiento, así como en "bahías" alojadas en la zona del andén. En las paradas se realiza el ascenso y descenso de pasajeros y éstas se sitúan en puntos estratégicos del itinerario. Para hacer más cómoda la espera de los usuarios generalmente se instalan cobertizos con un cierto número de asientos en las paradas oficiales de las unidades de transporte público.
- Paraderos. Básicamente son un conjunto de paradas ubicadas en un mismo sitio y que permiten dar servicio a un gran número de usuarios de varias rutas de transporte público. Las características de un paradero se fijan con base en los volúmenes de pasajeros, las variaciones de la demanda de transporte, el número de unidades y las prácticas de operación del servicio. En general, se requiere disponer de un área importante para el establecimiento de los paraderos, además de que es necesario construir enlaces eficientes con la vialidad adyacente. En los paraderos pueden existir escaleras, rampas, pasillos y plataformas para la circulación de los pasajeros, así como zonas de espera con servicios complementarios, tales como cobertizos, baños y tiendas, entre otros. En algunos casos, los paraderos tienen como función principal facilitar el transbordo de medios de transporte
- Estaciones y terminales. El primer término normalmente se utiliza para medios de transporte con altos volúmenes de pasajeros, tales como el metro y el tren ligero (sistemas de transporte férreos). A las estaciones intermedias de estos medios de transporte se les suele denominar "estaciones de paso". Las estaciones terminales son aquellas ubicadas en los extremos del itinerario. En las estaciones de transferencia se efectúan los transbordos de una línea a otra de un mismo medio de transporte o entre medios de transporte diferentes. Los paraderos son un tipo especial de estación de transferencia y corresponden a zonas reservadas a la operación de buses, busetas y colectivos, principalmente. Las estaciones terminales también pueden funcionar como estaciones de transferencia

En general, la infraestructura más completa corresponde a las estaciones. Los principales elementos de éstas son los siguientes: accesos, pasillos, escaleras, rampas y elevadores; vestíbulos; plataformas. Normalmente todas estas instalaciones quedan alojadas en uno o más edificios, techados parcial o completamente

En el caso de los buses, busetas y colectivos es común que también se disponga de infraestructura adicional para el mantenimiento de las unidades. Los principales elementos de dicha infraestructura son los siguientes:

- Zona de estacionamiento. Se utiliza para las actividades siguientes: recepción, estacionamiento y salida de las unidades.
- Zona de talleres. En la misma se efectúa el abastecimiento de combustible, el lavado y la limpieza de las unidades, así como el mantenimiento preventivo y las reparaciones
- Zonas complementarias. Entre éstas se encuentran las oficinas, los almacenes, los vestidores y otras instalaciones para los trabajadores. En algunos casos resulta muy importante el proporcionar una zona de estacionamiento para los trabajadores.

2.1.4 Infraestructura para las bicicletas

En la mayor parte de los casos, las bicicletas comparten la vialidad urbana con los vehículos automotores. Sin embargo, las diferencias físicas y de operación de las bicicletas con respecto a los otros vehículos suelen ocasionar graves problemas de seguridad para las primeras, sobre todo cuando no se respeta o no se hace cumplir el reglamento de tránsito. Una forma de garantizar la seguridad a los ciclistas y de fomentar la utilización de las bicicletas es a través de la construcción de ciclovías en sitios estratégicos de una zona urbana. Por razones de protección al ambiente y para crear una cultura ecológica, la construcción de ciclovías se está volviendo una medida muy popular en muchos países. En el caso de Santa Fe de Bogotá, es común que se cierren algunas vías a la circulación de los vehículos automotores durante ciertas horas de los días de fin de semana, con el fin de que éstas sean utilizadas por bicicletas; acciones de este tipo permiten evaluar las posibilidades reales de éxito de un sistema de ciclovías que sean utilizadas para viajes que normalmente se efectúan en vehículos automotores, ya sean particulares o de transporte público.

Las ciclovías generalmente están separadas del tránsito de vehículos automotores y se construyen en derecho de vía propio. Las bicicletas son más sensibles a las irregularidades en la superficie de rodadura que los vehículos automotores, por lo que se deberá tener cuidado de mantener en buen estado dicha superficie. Cuando las ciclovías se construyen en forma paralela a tramos viales utilizados por los vehículos automotores es común que se mantengan los mismos alineamientos horizontal y vertical. En el caso de cruces de ciclovías con la vialidad se recomienda la construcción de pasos a desnivel. Debido a las especificaciones de claro vertical mínimo, normalmente resulta más económico construir pasos inferiores para las ciclovías, presentándose el inconveniente de contar con iluminación.

Si se quiere fomentar la utilización de las bicicletas para transferir pasajeros de algún medio de transporte público, es necesario proporcionar instalaciones seguras y económicas para su almacenamiento en horarios que se adapten a la mayor parte de los usuarios.

2.1.5 La demanda de transporte

La demanda de transporte es función del tipo y de la intensidad de las actividades realizadas por los habitantes de una zona urbana. En el capítulo de este manual correspondiente a la planeación del transporte se trata el tema del desarrollo de los modelos para predecir la demanda de transporte. Este capítulo deberá ser consultado en caso de que se desee obtener información más detallada desde la perspectiva de la planeación del transporte.

En términos generales, la demanda de un medio de transporte dado corresponde al número de viajes realizados y la forma en que éstos se distribuyen en el tiempo y a lo largo de los itinerarios en que se presta el servicio.

La tendencia general en la mayor parte de las ciudades es de un incremento en la demanda de transporte, en algunos casos de una magnitud significativa en el corto plazo. Además de este crecimiento previsto, en el establecimiento de las características básicas de los sistemas de transporte urbano se deben considerar las variaciones cíclicas de la demanda. Al respecto, el número de viajes realizados en una zona urbana normalmente varía con el día de la semana, por ejemplo, es común que los viernes se registre una demanda de

transporte mayor que el valor promedio de los días hábiles. Asimismo, la distribución por propósito de los viajes de los días hábiles es muy diferente a la de los días de fin de semana o de los días festivos.

En las temporadas de vacaciones también se presenta un descenso en la demanda de transporte en las zonas urbanas, aunque el efecto contrario se puede observar en las ciudades turísticas.

Desde el punto de vista del proyecto de la infraestructura vial y del transporte, así como de la prestación del servicio del transporte público de pasajeros, resulta fundamental conocer las variaciones de la demanda. Normalmente, se debe considerar cierto nivel de la demanda para el proyecto de los diversos elementos del sistema de transporte.

En el caso de la infraestructura vial, los análisis generalmente se basan en el período de máxima demanda, en el que se presentan los mayores volúmenes de tránsito del día. A este período normalmente corresponden los niveles de servicio más bajos, caracterizados por las más altas demoras en las intersecciones y, en general, por las condiciones más críticas de operación del día. Normalmente, el período de máxima demanda en las zonas urbanas tiene una duración de más de una hora, en general, se presenta en el transcurso de la mañana, cuando se realiza un gran número de viajes. En la hora más crítica se pueden registrar volúmenes de tránsito que varían entre el 8 y el 15% del volumen total diario.

En la mayor parte de las ciudades del mundo también se presenta el fenómeno de que se hacen más viajes en un sentido que en el otro durante la hora de máxima demanda. Generalmente, el patrón de la hora más crítica de la mañana se invierte en la hora de máxima demanda de la tarde. Esta situación se observa claramente en las vías de acceso controlado que atraviesan una ciudad de un extremo a otro.

Debido a las variaciones de la demanda, es difícil aprovechar eficazmente la infraestructura vial existente. En algunas horas la infraestructura disponible puede resultar excesiva para los flujos vehiculares que se presentan, mientras que en otros periodos la operación del tránsito es muy deficiente.

De acuerdo con McShane y Roess (1990, p. 15-16), se pueden inducir cambios en el patrón de demanda de transporte, mediante la implantación de medidas como las siguientes:

- Modificación de la distribución horaria de la demanda. A veces el problema no es que exista una gran demanda de transporte, sino que ésta se concentra en un período muy corto. Una medida posible para solucionar este problema consiste en escalonar los horarios de trabajo, principalmente a lo largo de aquellos corredores en que se presente la mayor concentración de la demanda de transporte.
- Reducción de la magnitud de la demanda. Idealmente, se puede lograr este efecto si es factible disminuir el número de horas promedio que los empleados trabajan en semana, o si se puede reducir la longitud de los viajes. Desde el punto de vista de la planeación urbana, es posible la segunda medida si se fija como un objetivo que las viviendas se encuentren ubicadas cerca de las fuentes de trabajo y de los centros educativos.
- Distribución más eficiente de la demanda. Existen algunas acciones encaminadas a lograr un mejor aprovechamiento de los vehículos particulares, en las que se permiten

que éstos utilicen ciertas vías o carriles exclusivos cuando el número de ocupantes es mayor que un número preestablecido. En algunos casos, también se promueve el cambio de un medio de transporte particular a un medio de transporte público.

En lo que respecta a los países en desarrollo es común que la mayor parte de los viajes que se efectúan en el transporte público correspondan a personas que no tienen otra opción para desplazarse en la ciudad, para recorridos de cierta longitud. En virtud de lo anterior, a estas personas en conjunto se les denomina "usuarios cautivos"; en general, este estrato de la población no tiene a su disposición un automóvil particular. Por otro lado, las personas que tienen un vehículo propio normalmente prefieren utilizarlo y rara vez deciden emplear el transporte público para sus viajes cotidianos.

El comportamiento de los usuarios cautivos debe ser considerado específicamente en los análisis de demanda de un sistema de transporte público. Por necesidad, este tipo de personas utilizan los medios de transporte público disponibles a pesar que éstos ofrecen un nivel de servicio deficiente. En caso de que el costo del transporte público les resulte excesivo, normalmente aumentarán la longitud de sus desplazamientos a pie y tratarán de disminuir el número de viajes en unidades de transporte público.

En la planeación del transporte se suele separar al estrato de usuarios cautivos del transporte público de los estratos que sí tienen acceso a un automóvil particular, principalmente en los análisis de selección de medio de transporte.

3. PROYECTO DE SEÑALAMIENTO TIPO

Con el deseo de complementar lo correspondiente al señalamiento vertical y horizontal, se presenta a continuación, a manera de ejemplo, las diversas etapas que usualmente se llevan a cabo en la elaboración de un proyecto de mejoramiento de un sistema de señalamiento existente:

1. Introducción

Ubicación del proyecto dentro del marco de las acciones y los programas de transporte, tránsito y vialidad del plan de desarrollo de la ciudad, municipio o estado. Se plantean los antecedentes y justificaciones que respaldan el propósito de implementar el proyecto y se describen las características generales de la zona donde se va a ejecutar.

2. Objetivos

Teniendo como referencia el propósito general, se enuncian en orden de jerarquía los objetivos principales que se persiguen con el desarrollo del proyecto, como por ejemplo para el caso: mejorar la seguridad, optimizar la operación del tránsito, racionalizar la vialidad, guiar al usuario, etc.

3. Recopilación y análisis de la información

Se elaboran los planos base, obtenidos por restitución, digitalización o mediante levantamientos geométricos de las vialidades en estudio, dibujados a escalas apropiadas. Estos planos contienen la orientación de la zona de estudio, la simbología que describe todos los elementos físicos existentes y un cuadro resumen para las señales verticales tanto de inventario como de proyecto.

En todas las calles de la zona de estudio se realiza un inventario de sentidos de circulación, que igualmente contiene la nomenclatura, el número de carriles, los anchos de banquetas, el tipo de superficie de rodamiento, los servicios, las condiciones de estacionamiento, etc.

Con el propósito de obtener información relacionada con los elementos físicos y del mobiliario urbano del área del proyecto, se efectúa un inventario de postes y árboles y otros elementos potenciales que puedan ser utilizados para colocar señales.

Obtenido el levantamiento geométrico de las vialidades, se realiza el inventario de señalamiento vertical, que físicamente identifica todas las señales encontradas, su estado, su posición, tipo y leyenda.

Por último, se obtiene la información relacionada con las condiciones del señalamiento horizontal, como lo son las marcas, rayas, flechas y letras pintadas en el pavimento.

El análisis de toda la información recopilada anteriormente permite realizar el diagnóstico del señalamiento y elaborar las conclusiones pertinentes.

4 Anteproyecto de señalamiento vertical

Se establecen los sitios de importancia a nivel regional, como lugares de recreación, vialidades existentes y sitios de atracción de viajes, que dan las bases para el establecimiento de las señales informativas.

Con el inventario del señalamiento y con los destinos y vialidades definidos y aprobados, se revisa el señalamiento existente incluyendo las señales preventivas, restrictivas e informativas

En el anteproyecto de cada plano, se analiza la necesidad de mantener algunas señales existentes, así como eliminar otras que estén fuera de las especificaciones, ya sea por estar en mal estado, mal ubicadas, no uniformes o de diferente color y tamaño.

Las señales de anteproyecto se dibujan con el diseño completo de textos y símbolos, y se indica el sitio de la instalación de cada señal con referencias en puntos fácilmente identificables en la planta geométrica. Además de las especificaciones y recomendaciones que se establecen en el Manual de Dispositivos, en el anteproyecto reincluyen criterios determinados con base en la experiencia en este tipo de estudios.

5 Anteproyecto de señalamiento horizontal

Sobre copias heliográficas de los planos base se dibujan las marcas sobre el pavimento, tales como rayas, separadores de carriles, líneas de alto, pasos peatonales y rayas canalizadoras en isletas y camellones. En el mismo plano se dibujan los detalles del alineamiento horizontal, dejando bien claras las dimensiones de las marcas.

6. Aprobación y verificación del anteproyecto en campo

Terminado el anteproyecto, éste se somete a consideración de la Dirección de Vialidad encargada del proyecto (municipal o estatal) para su aprobación, se verifica en campo y se realizan los ajustes en cuanto a ubicación de señales

7 Proyecto definitivo

Aprobado y revisado el anteproyecto en campo, se procede a dibujar el proyecto definitivo sobre planos de papel poliéster. Cada señal se dibuja con el diseño completo de textos y símbolos, colocadas en el plano de acuerdo al sentido de circulación del tránsito, iniciando además su ubicación con referencia en puntos de fácil identificación en la planta geométrica

8. Especificaciones técnicas

Se refiere al detalle de las especificaciones generales de fabricación y colocación del proyecto de señalamiento vertical y horizontal

9 Catálogo de cantidades de obra

Cuantificación según el tipo y clasificación de las señales que componen el proyecto; las nuevas, las que se reubican, así como las que se eliminan.

10 Presupuesto de la obra

Con las cantidades de obra se realiza el presupuesto, con el propósito de obtener una idea del costo para fines de concurso y poder evaluar las propuestas de los diferentes contratistas. El presupuesto debe basarse en precios unitarios vigentes

3.1 Ejemplos de proyectos de señalamiento

Las siguientes figuras ilustran diferentes tipos de proyecto de señalamiento en intersecciones.

Figura 3.1 Proyecto de señalamiento en un distribuidor tipo trébol

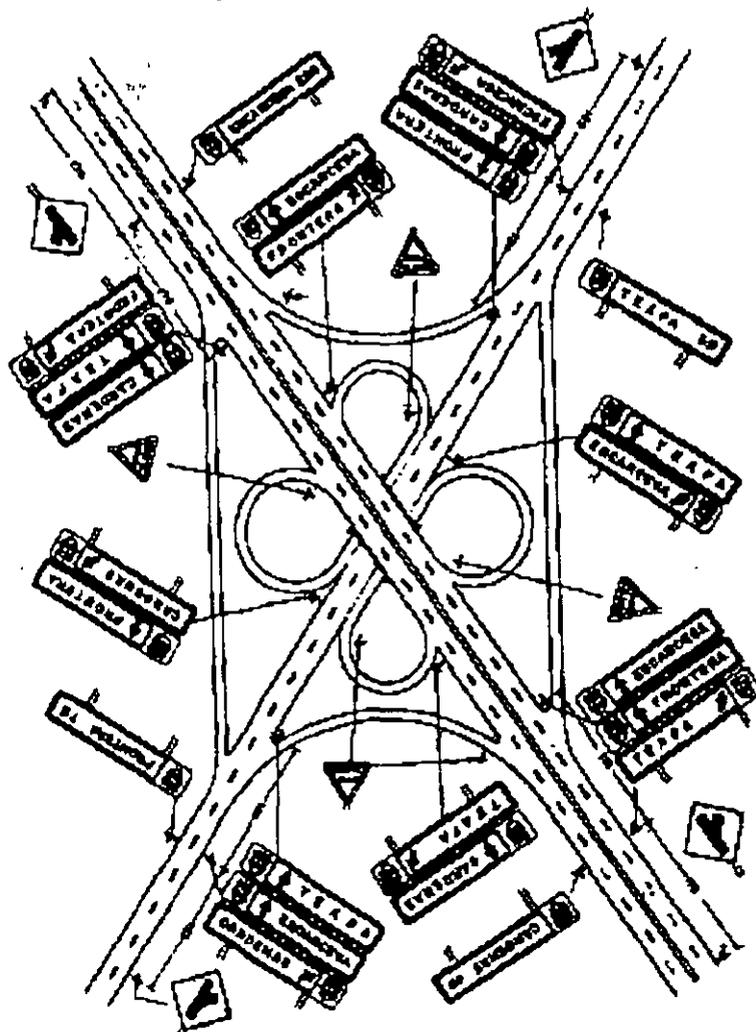


Figura 3.2 Proyecto de señalamiento en un distribuidor tipo trompeta

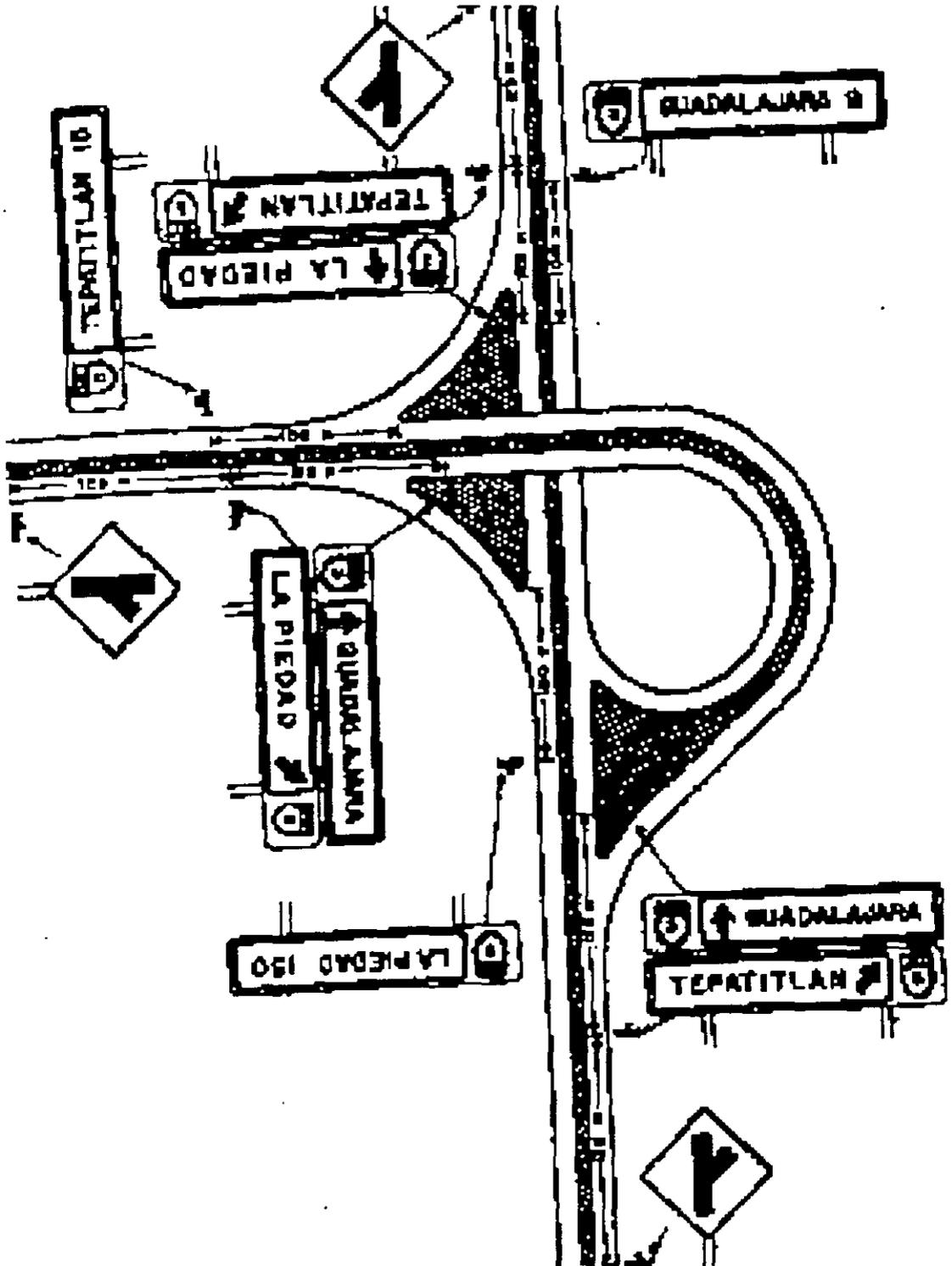


Figura 3.3 Proyecto de señalamiento en una intersección en Y

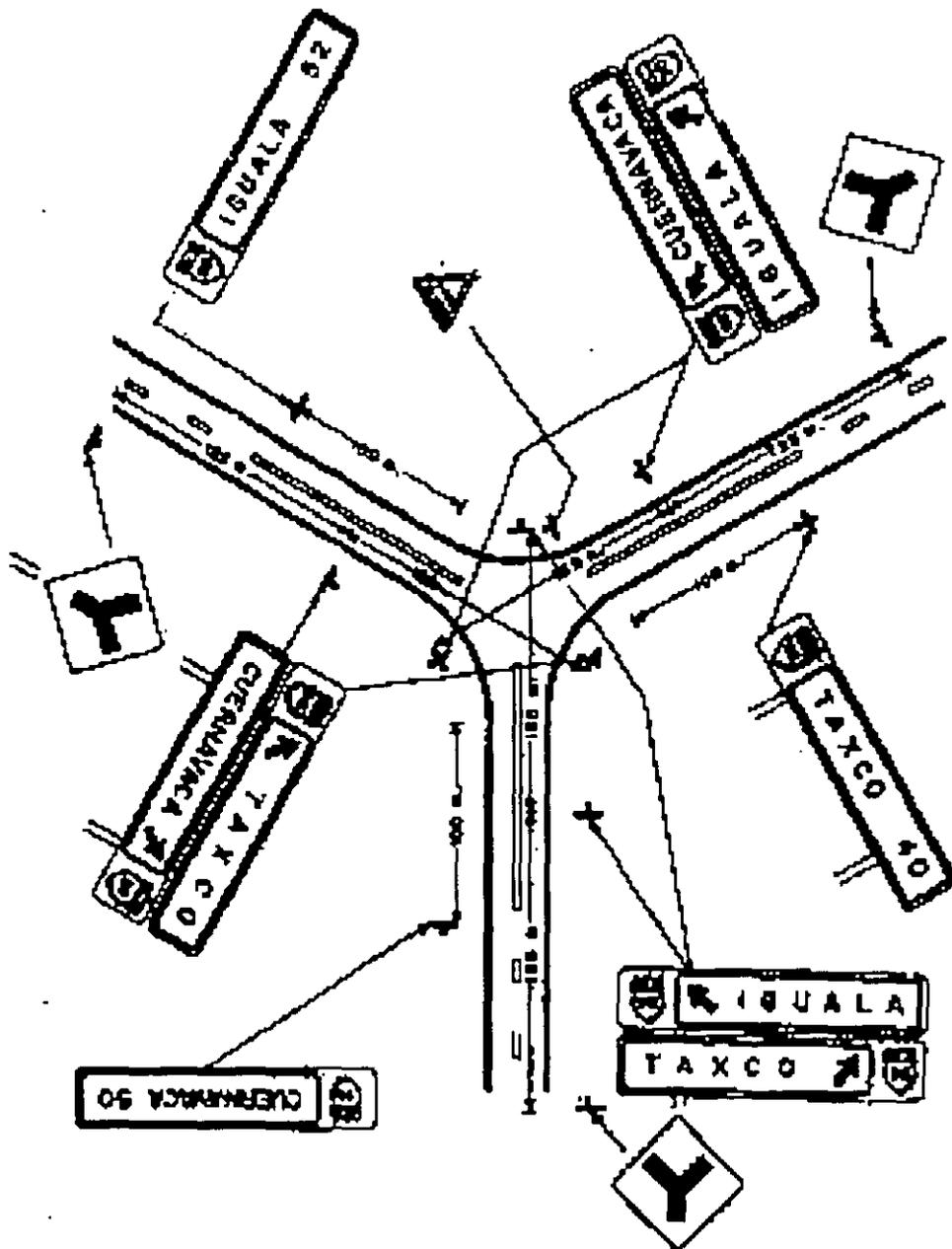
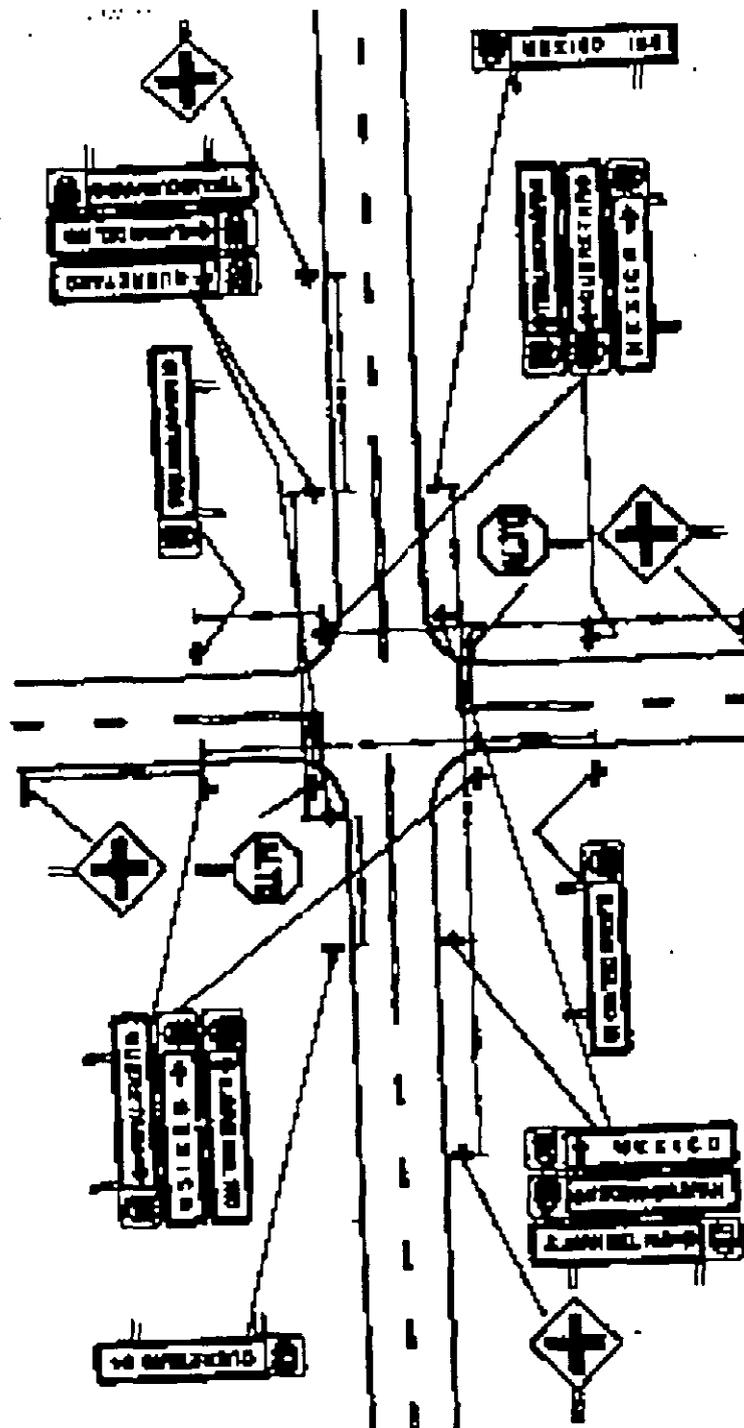


Figura 3.4 Proyecto de señalamiento en una intersección en cruz



4. EL TRÁNSITO

Esta sección se basa en gran parte en la obra en preparación "Manual de ingeniería de tránsito" de Guido Radelat Egües.

4.1 Variables básicas que caracterizan el tránsito

Las variables básicas que caracterizan el tránsito en conjunto son: el *volumen*, la *velocidad media* y la *densidad*. Estas variables constituyen los llamados *parámetros macroscópicos* que definen las *corrientes vehiculares*.

4.1.1 Volumen de tránsito

4.1.1.1 Definición

Se llama *volumen de tránsito* al número de vehículos que pasan por un punto de la vía o de cualquiera de sus partes en la unidad de tiempo. Últimamente se está llamando *flujo* (1) al volumen en general, (2) al volumen cuando se mide en periodos de menos de una hora, (3) al tránsito, (4) a una corriente vehicular, (5) a grupos de vehículos que realizan movimientos en una dirección determinada, etc. Para evitar confusiones nos apegaremos al vocablo *volumen* y sólo utilizaremos *flujo* para referirnos a un volumen idealizado y a la forma de fluir de una corriente vehicular. También se llama *intensidad* al volumen, pero esa palabra la hemos reservado para el volumen por carril.

La unidad de tiempo que se usa generalmente para medir el volumen es el día o la hora. Entre los volúmenes diarios se encuentra el llamado *tránsito promedio diario (TPD)* que define la American Association of State Highway and Transportation Officials, (AASHTO) (1994, p 53) como "el volumen total durante un periodo de tiempo dado (en días completos), mayor que un día y menor que un año dividido entre el número de días en ese periodo". Si el periodo es de un año entonces se llama *tránsito promedio diario anual (TPDA)*. En ciudades se usa mucho el volumen promedio por día laborable. Los volúmenes diarios se utilizan principalmente en trabajos de planeación y como medida de utilización vial para racionalizar la asignación de fondos viales.

Los volúmenes horarios se utilizan para diseñar los detalles geométricos de las vías, establecer criterios para el uso de dispositivos de la regulación del tránsito y determinar si una vía, calzada o carril puede satisfacer la demanda del tránsito en la hora de máxima afluencia.

4.1.1.2 Variaciones en los volúmenes

El volumen de tránsito suele experimentar variaciones a lo largo de las 24 horas del día, durante la semana y a través del año, donde hay estaciones marcadas.

Las variaciones diarias son muy amplias en medio urbano y rural próximo al urbano. La demanda de tránsito alcanza sus valores máximos diarios durante los periodos que llamamos *periodos pico*. La hora cuando ocurre la máxima demanda la denominamos *hora pico*. Estos periodos se caracterizan no solamente porque los volúmenes sean máximos, sino también porque la actitud de los usuarios de las vías en ellos es distinta a

la del resto del día. En esas horas hay mucho más dinamismo, los conductores tratan de manejar con mayor velocidad y en forma más temeraria, los peatones andan más de prisa, los pasajeros de los buses corren para alcanzarlos y se suben y se bajan de ellos con mayor premura. En cambio, durante el resto del día, en lo que llamamos *horas valle*, todo es más lento y apacible. El ingeniero de tránsito debe tener muy en cuenta ese cambio de comportamiento humano si va a usar datos tomados en horas pico y horas valle. Puede resultar erróneo mezclar datos de ambas procedencias.

Aun dentro de una hora pueden ocurrir variaciones significativas en el volumen de tránsito. Esas variaciones se denotan en estudios de capacidad vial por medio del llamado *factor de pico horario (FPH)*, que se calcula dividiendo el volumen horario medido durante la hora entre el medido en la fracción de la hora cuando la demanda es máxima. La fracción elegida es comúnmente de 15 minutos. Una vez determinado el FPH para un tipo de tramos de vía, se puede usar ese factor para estimar el volumen durante el período pico de 15 minutos dentro de la hora, en cualquier tramo de vía del mismo tipo, con sólo conocer el volumen durante la hora. Por ejemplo, si se ha determinado que para cierto tipo de tramo el FPH es de 0.8 y el volumen medido durante una hora 500 veh/h, el estimativo del volumen en los 15 minutos pico de esa hora sería de $500 / 0.8 = 615$ veh/h. Obsérvese que las unidades son siempre vehículos por hora.

El cambio de volumen de tránsito a través de la semana varía de acuerdo con el medio donde se encuentre la vía. En vías urbanas suele haber fluctuaciones pequeñas de martes a jueves, el tránsito es más intenso los lunes por la mañana y los viernes por la tarde, pero durante los sábados y los domingos los volúmenes de tránsito pueden disminuir drásticamente. Esas variaciones se reflejan en vías rurales próximas a las ciudades, pero en vías rurales a lugares de recreo los volúmenes aumentan más los sábados y domingos. Además, durante los fines de semana el tránsito es generalmente más irregular e imprevisible debido al mayor número de conductores con poca experiencia que salen de paseo en esos días.

También la distribución del volumen de tránsito en un sentido y otro de la vía puede cambiar significativamente. En general es una variación pendular, con volumen predominante en un sentido durante ciertas horas o días y luego en sentido contrario. En vías urbanas que comunican zonas residenciales con zonas de concentración de empleos esta variación es un fenómeno cotidiano. Algo similar sucede también en vías rurales a sitios de recreo.

A veces ocurren eventos extraordinarios que hacen variar los volúmenes de tránsito en forma distinta a la habitual al cambiar radicalmente la cuantía de la demanda de tránsito, su distribución, o ambos factores. Algunos de estos eventos, como los juegos de fútbol, son previsible, pero otros como incendios, inundaciones o alteraciones del orden público no lo son.

4.1.1.3 Patrones de volúmenes de tránsito

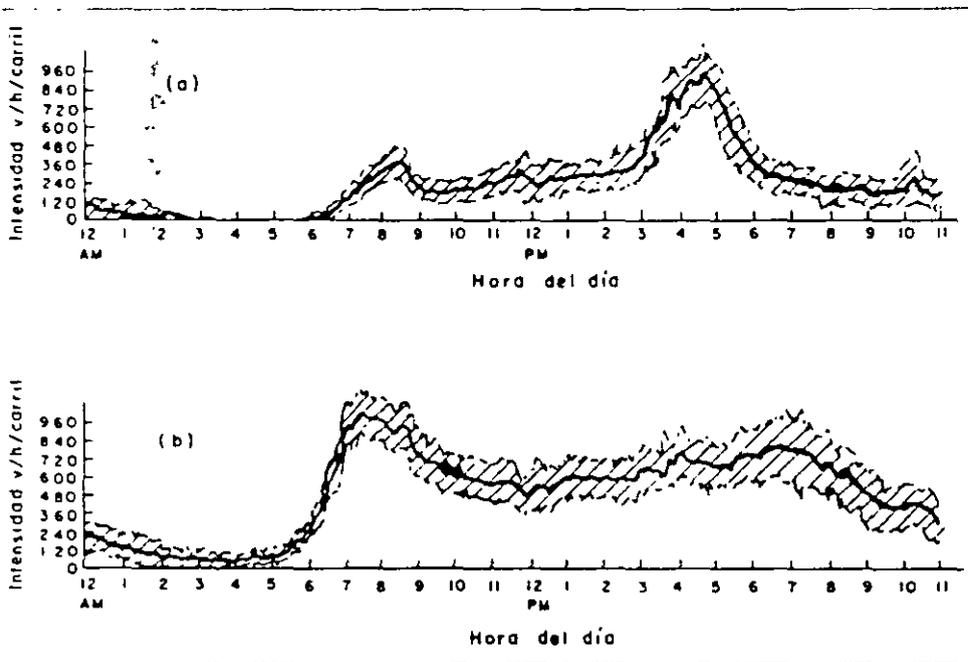
Es común que la forma general de las variaciones de los volúmenes de tránsito se repita para un punto de una vía urbana día tras día, al menos de martes a jueves. Algo similar sucede con otros tipos de vías y otros períodos de tiempo. Por ejemplo, la Figura 3.1 muestra el resultado de observaciones del volumen de tránsito en dos calles realizado en un período de 77 días. La zona sombreada indica dónde se espera que caiga el 95 por

ciento de las observaciones. A esta forma característica de la variación de los volúmenes de tránsito es lo que llamamos *patrón de volúmenes de tránsito*.

El conocimiento de esos patrones es muy importante porque permite derivar datos sobre volúmenes partiendo de otros que ya se poseen. Estos patrones se pueden expresar como una serie de porcentajes del tránsito total en un periodo de tiempo que corresponde a distintas subdivisiones de ese periodo.

Por ejemplo, supongamos que el patrón de volúmenes de tránsito a lo largo de un *tipo particular* de arteria urbana, de martes a jueves, es como muestra la Tabla 3.1. Los números de las filas primera y tercera indican intervalos de una hora, y los de la segunda y cuarta los porcentaje del volumen total, en las 24 horas del día, que se espera circulen en cada una de esos intervalos

Figura 4 1. Forma general de las variaciones del volumen de tránsito en dos calles de Toronto, Canadá.



Fuente McShane y Crowley (1976, p. 36)

Tabla 4 1 Patrón diario de volumen de tránsito en un tipo de arteria urbana de martes a jueves

AM	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
%	3.0	2.4	1.6	1.2	0.9	1.0	3.5	5.0	7.2	5.0	4.9	5.4
PM	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
%	5.5	4.0	3.5	4.3	5.7	7.5	6.0	4.3	5.4	5.2	4.0	3.5

Fuente: Elaboración propia

Si se ha observado un volumen de tránsito de 850 veh/h, un martes de siete a ocho de la mañana, en un punto de una arteria del tipo considerado, y se quiere tener una idea sobre cuál sería el volumen en ese punto el miércoles de cinco a seis de la tarde, se puede inferir el valor de ese volumen así $850 \times 7.5 / 5.0 = 1\ 275$ veh/h. De este modo, identificando las vías que tienen patrones de volúmenes análogos y conociendo su patrón medio, se pueden ampliar los resultados de un número limitado de aforos de volúmenes a todas las vías principales de un sistema vial. La precisión de los valores extrapolados, sin embargo, es generalmente un misterio

4 1.1.4 Volumen horario de diseño

Cuando un ingeniero diseña una vía o modifica sus componentes, por una parte, desea ofrecer el mejor servicio posible a sus usuarios, y por otra parte busca la eficiencia económica. Muchas veces esos deseos conducen a soluciones contradictorias que es preciso reconciliar. El volumen de tránsito que circula por punto de una vía depende primordialmente de la demanda de tránsito, es decir, la cantidad de vehículos por unidad de tiempo que debe pasar por ahí para satisfacer las necesidades o deseos de sus ocupantes. Por otra parte, la calidad del servicio que se ofrece a esos usuarios depende de las características de la vía (número y ancho de carriles, bondad de la programación de los semáforos, etc.) Desde luego, el peor servicio que se puede dar a los usuarios (desde el punto de vista del tránsito) es el que resulta si la demanda excede la capacidad de tránsito de la vía en el punto considerado. Cuando eso sucede se dice que hay *congestión*, y ésta se manifiesta por filas de vehículos detenidos o avanzando intermitente, demoras intolerables y otras calamidades.

Si la demanda no es excesiva no hay congestión, pero según la demanda vaya disminuyendo, habrá menos conflictos entre vehículos lentos y rápidos, mayor libertad de acción, menos tensión al conducir, en resumen, *la calidad del servicio ofrecido irá mejorando*. Existen normas que establecen qué calidad de servicio debe ofrecer una vía o sus componentes según su categoría. En ese caso la tarea del ingeniero proyectista es diseñar características que satisfagan el volumen de demanda *de acuerdo con la calidad del servicio que se deba ofrecer*. Para ello tendrá que aplicar técnicas de capacidad vial y nivel de servicio como las que se esbozan en el capítulo siguiente. Ya que la distribución por sentidos del volumen de tránsito es generalmente desigual, se suele diseñar para el sentido más cargado.

Una dificultad que encuentra el ingeniero es que el volumen de demanda varía constantemente, y también va cambiando (generalmente aumentando) a lo largo del tiempo. Lo diseñado debe ofrecer un servicio adecuado, no solamente en el momento que se diseña sino también durante varios años después; por lo tanto, para diseñar debe elegirse un año futuro y estimar la demanda para ese año. Como los volúmenes de demanda en el año de diseño van a variar de hora en hora, es preciso escoger uno de esos volúmenes como *volumen horario de diseño (VHD)*. Resultaría muy dispendioso seleccionar el máximo valor del volumen de demanda durante ese año para diseñar la vía, pero sería inadecuado usar el promedio de todos los volúmenes de demanda del año.

A fin de resolver ese dilema, la AASHTO (1994, p. 54, 56) recomienda que para vías rurales (como regla práctica basada en una larga experiencia), se tome como VHD el *trigésimo* (el número 30) de los volúmenes horarios que se estime circularán por la vía en el año de diseño, ordenados en valores descendentes. Para vías urbanas sugiere que para cada semana del año de diseño se estime el valor del máximo volumen en las horas

picos (diarias) y se designe el VHD como el promedio de esos valores. Naturalmente, la aplicación de esas reglas requiere un conocimiento sobre los volúmenes de tránsito que rara vez se tiene.

Para estimar el volumen de diseño, se puede partir del TPDA y aplicarle los llamados factores K y D. El factor K es la relación entre el VHD, y el TPDA mientras que el factor D es la proporción del volumen total que circula en el sentido más cargado, de manera que si la distribución del volumen por sentidos es de 30% y 70 % el factor D es 0.7 Según McShane y Roess (1992, p. 50) el factor K generalmente disminuye según aumenta la densidad de actividades en el entorno de la vía. El factor D depende de la permutación de orígenes y destinos de viajes en las zonas que comunica una vía. Así las vías que enlazan zonas residenciales con zonas de empleo, llamadas *radiales*, tienen un factor D mayor que las denominadas *circunferenciales*, que sirven zonas de análogo uso del terreno. La Tabla 4.2 presenta valores típicos de los factores K y D en los Estados Unidos.

Tabla 4.2 Valores comunes de los factores K y D en los Estados Unidos

Tipo de vía	Valores de los factores	
	Factor K	Factor D
Rural	0.15 - 0.25	0.65 - 0.80
Suburbana	0.12 - 0.15	0.55 - 0.65
Urbana		
Radial	0.07 - 0.12	0.55 - 0.60
Circunferencial	0.07 - 0.12	0.50 - 0.55

Fuente: McShane y Roess (1990, p 51)

Por ejemplo, si se estima que el TPDA de una arteria urbana será de unos 10 000 veh/h, en ambos sentidos, en el año de diseño, que el reparto del tránsito por sentido es de 60% y 40% en las horas de máxima demanda ($D = 0.6$) y que el factor K es de 0.1, el volumen de diseño sería de $10\,000 \cdot 0.6 \cdot 0.1 = 600$ veh/h.

4.1.2 Velocidad

4.1.2.1 Velocidad y velocidad media

La velocidad es el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo y a los ocupantes de un vehículo en particular les interesa mucho la velocidad que desarrolle el vehículo en que van, pues de ella depende la prontitud con que puedan llegar al destino de su viaje y en muchos casos su seguridad personal. Es bien sabido que la velocidad, se expresa comúnmente en kilómetros por hora y a veces en metros por segundo.

Desde el punto de vista del tránsito la velocidad de un vehículo en particular y en un momento dado no cuenta tanto como su *velocidad media* cuando hace un recorrido y como también la *media* de todos los vehículos de una corriente de tránsito. Hay varios tipos de velocidades medias como se explica más adelante, pero conviene aclarar ahora la diferencia entre *velocidad media individual* y *velocidad media colectiva* (que se suele llamar simplemente *velocidad media*). La primera es una media ponderada de las velocidades que ha desarrollado un vehículo para recorrer una distancia dada; la segunda es la media de las velocidades de los vehículos (1) que pasan por un punto durante cierto tiempo, (2) que se encuentran en un tramo de vía en un momento dado, o (3) la media de las velocidades de cierto número de vehículos que recorren una distancia determinada. En el último caso se trata de una *media de medias individuales*.

Si bien el volumen es una medida de la *cantidad* de tránsito que pasa por cierto lugar, la velocidad media mide, hasta cierto punto, la *calidad* del servicio que ofrece la vía en ese lugar y eso es algo que pueden percibir directamente los usuarios de una vía. En cambio, el volumen es una variable básica del tránsito difícil de percibir por los que no son ingenieros de tránsito y aun por los que lo son

El conocimiento de la velocidad, en sus distintas modalidades, es importante para el diseño geométrico de vías y de los dispositivos para la regulación del tránsito, así como para la selección y ubicación de éstos

4.1.2 Tipos de velocidades individuales

A continuación se presentan las definiciones de algunos tipos de velocidades individuales que más se usan en ingeniería de tránsito.

Velocidad instantánea Es la de un móvil en un instante determinado. Es obvio que sólo se pueden medir aproximaciones a la velocidad instantánea

Velocidad puntual. Velocidad instantánea de un vehículo cuando pasa por un punto de una vía

Velocidad de recorrido Es el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo que ha tardado en recorrerlo. Es realmente una velocidad media individual

Velocidad de marcha Relación entre la distancia recorrida por un vehículo y el tiempo durante el cual el vehículo ha estado en movimiento al recorrer esa distancia. No tiene en cuenta el tiempo en que pudiera haber estado detenido el vehículo. Es también una velocidad media individual.

Velocidad libre Llamada también *velocidad a flujo libre*, es la velocidad puntual o de marcha de aquéllos vehículos cuyo avance no está impedido ni por la interacción vehicular ni por la regulación del tránsito.

Las siguientes definiciones complementan las anteriores.

Tiempo de recorrido El que transcurre mientras un vehículo recorre cierta distancia, incluyendo el invertido en paradas imputables a la vía, al tránsito o a su regulación. Se usa para calcular la velocidad de recorrido. No debe confundirse con el *tiempo de viaje* que es el que tarda una persona o vehículo en ir del origen al destino de un viaje

Tiempo de marcha Periodo de tiempo durante el cual un vehículo está en movimiento. Se usa para calcular la velocidad de marcha

4.1.3 Densidad

La tercera variable básica del tránsito es la *densidad*, que es el número de vehículos que se encuentran en cierto momento, parados o andando, en un tramo de una vía, calzada o carril. Se expresa en vehículos por kilómetro, ya que en un metro no suele haber un vehículo real y mucho menos en un punto que es donde se mide el volumen. Conviene destacar que si bien la densidad se mide en un punto temporal y en una unidad espacial suficientemente grande para que quepa al menos un vehículo, el volumen se mide en un

punto espacial y en una unidad temporal suficientemente grande para que pase al menos un vehículo. Son conceptos teóricamente incompatibles y sólo se pueden relacionar aproximadamente utilizando valores medios. Por el contrario, la velocidad se puede medir tanto en un casi punto como en un tramo y en cualquier unidad de tiempo mientras que se trate de un tiempo finito.

Los usuarios de la vía no pueden percibir directamente la densidad en sí, pero pueden apreciar la separación longitudinal y lateral entre vehículos, lo que da la idea de la densidad, al menos en lo que ven de la vía. La densidad restringe principalmente la libertad de movimiento de los vehículos y es por eso que se ha usado como indicador de la calidad del servicio que proporciona una vía. Medida indirectamente, la densidad se ha usado mucho para detectar cuando una autopista está próxima a saturarse e impedir la entrada de un exceso de vehículos que puedan desencadenar una temida congestión de tránsito.

4.2 Corrientes vehiculares

4.2.1 Definición de corrientes vehiculares

Llamamos *corriente vehicular* al conjunto de vehículos que circulan a lo largo de una calzada y en el mismo sentido. Las corrientes suelen estar constituidas por filas de vehículos en movimiento de uno en fondo que se acomodan en los distintos carriles de la calzada, estén demarcados o no.

4.2.2 Características de las corrientes vehiculares

Las corrientes de varias filas en movimiento tienen características algo distintas a las de una sola. En calzadas de dos carriles con circulación en ambos sentidos existen dos corrientes vehiculares opuestas de una fila y para que los vehículos más rápidos puedan adelantar los más lentos deben invadir el carril para el sentido opuesto, lo que sólo puede hacerse en determinadas oportunidades, pues se necesita que ocurra un vacío relativamente grande en la corriente opuesta, además de disponer de una distancia de visibilidad prudente. En cambio, cuando hay más de un carril destinado a una corriente vehicular los adelantamientos son muchos más fáciles, pues se hacen simplemente cambiando de un carril a otro adyacente, para lo que se requieren vacíos en la fila adyacente comparativamente pequeños y requisitos de visibilidad menos estrictos. De este modo, la eficiencia de las vías que permiten circulación en más de un carril es como el doble de las de un solo carril por sentido.

De acuerdo con la forma en que circulan las corrientes vehiculares, las vías se pueden clasificar en vías de circulación continua o discontinua. En las *vías de circulación continua*, el tránsito circula normalmente sin interrupciones, pues no hay elementos de control, y los vehículos sólo se detienen por interacción vehicular y por motivos ajenos al tránsito tales como cobro de peaje. Entre estas vías se encuentran las autopistas y las carreteras de dos carriles. En las *vías de circulación discontinua*, por el contrario, la forma normal de transitar requiere detenciones más o menos frecuentes, impuestas por la regulación del tránsito, tal como sucede en las arterias y otras vías urbanas.

4.2.3 Estados de un vehículo en la corriente vehicular

La Figura 4.2 muestra dos corrientes vehiculares que circulan por una carretera de dos carriles, esto es, por una vía de circulación continua. Para que quepan muchos vehículos en la página, excepto por las proporciones de ellos, se ha reducido la escala horizontal de la figura como a un sexto de lo que debiera ser. Eso quiere decir que si los vehículos circularan a velocidades normales, su separación debiera ser como seis veces la representada.

En esa figura se presentan los cuatro estados en que un vehículo puede circular en una corriente vehicular continua: *libre*, *restringido inicialmente*, *siguiendo a otro vehículo*, y *adelantando*. Hay otro estado en que no se circula cuando el vehículo está *detenido*.

A continuación se describe brevemente cada uno de estos estados.

Vehículo libre. Es el vehículo que no está afectado por la presencia de otros vehículos y va a la *velocidad libre* o a *flujo libre*. En vías de circulación continua se considera que un vehículo circula libremente cuando su espaciamiento en tiempo (brecha) con el vehículo que lo precede es mayor de cierto valor, o va creciendo. En vías de circulación discontinua, si no hay interacción vehicular, el vehículo puede circular libremente hasta que la regulación del tránsito lo obligue a parar o a aminorar su marcha.

Vehículo restringido inicialmente. Es el que ha reducido su velocidad al acercarse a otro que va a menor velocidad que la que quiere su conductor u ocupantes, pero aún circula a mayor velocidad que el vehículo precedente.

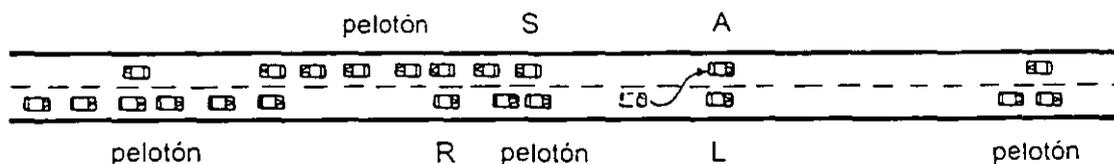
Vehículo siguiendo a otro vehículo. Esta es la continuación del estado anterior, cuando un vehículo que va detrás de otro más lento y no lo adelanta debe seguirlo más o menos a su misma velocidad para no chocar con él ni quedarse atrás.

Vehículo adelantando. Es el estado cuando un vehículo va realizando una maniobra de adelantamiento, mediante la cual se coloca delante del vehículo que iba siguiendo. Para ello debe aprovechar un claro en la fila de vehículos que circula por un carril adyacente en su mismo sentido o en sentido contrario.

Vehículo detenido. Es un estado anormal, aunque no raro, en vías de circulación continua y normal en las de circulación discontinua. En las arterias urbanas, los vehículos detenidos constituyen un elemento muy importante del tránsito.

4.2.4 Pelotones, colas y filas

Pelotón, caravana o columna es un conjunto de vehículos que se siguen unos a otros y que avanzan juntos por un carril de una calzada. En la Figura 4.2 se pueden identificar cuatro pelotones. Aunque hay quien acepta que puede haber pelotones de un vehículo, aquí consideramos que el número mínimo de vehículos en un pelotón son dos. El vehículo que encabeza el pelotón, que llamamos *cabeza de pelotón*, suele ser un vehículo libre, pero la velocidad deseada por su conductor es generalmente menor de la media de las velocidades deseadas por todos los conductores. A los espacios entre pelotones los llamamos *claros*.



Fuente: Radelat Guido, "Manual de ingeniería de tránsito", obra en ejecución

4.2 Corrientes vehiculares en una carretera de dos carriles

Entendemos por *cola* una hilera de vehículos detenidos o casi detenidos, mientras que el pelotón es una hilera de vehículos en movimiento. Un pelotón puede convertirse en cola y viceversa. Por ejemplo, los vehículos que están detenidos en un carril de un acceso a una intersección semaforizada esperando la indicación verde del semáforo constituyen una *cola* y cuando se ponen en movimiento, uno detrás de otro, forman un *pelotón*. Luego, si se separan mucho se dispersa el pelotón

Llamamos simplemente *fila* a una hilera de vehículos que puede estar en movimiento, detenida o parcialmente detenida.

4.2.5 Parámetros que caracterizan las corrientes vehiculares

A diferencia de las corrientes continuas de agua, y de otros fluidos, las corrientes vehiculares están constituidas por elementos bien discretos. Estos son los vehículos, cuyos movimientos dependen de sus características funcionales, de la interacción entre ellos, las restricciones que impone la vía, la regulación del tránsito y el medio ambiente, y también de las decisiones individuales de sus conductores. Todo esto introduce una gran variabilidad en la circulación de las corrientes vehiculares y grandes dificultades en conocer sus propiedades. Sin embargo, existen ciertos parámetros que reflejan esas propiedades y cuya observación y medida sirven para establecer límites a esa variabilidad y predecir hasta cierto punto el funcionamiento de esas corrientes

Como indican McShane y Roess (1992, p. 49) esos parámetros pueden clasificarse en dos categorías: (1) *parámetros microscópicos*, que caracterizan la interacción de los vehículos individuales dentro de la corriente, y (2) *parámetros macroscópicos* que expresan las características de las corrientes vehiculares en conjunto.

4.3 Parámetros microscópicos de las corrientes vehiculares

4.3.1 Definiciones

Existen dos tipos de estos parámetros, los *temporales* y los *espaciales*. Al primer tipo corresponden lo que llamamos *intervalo*, *brecha* y *paso*; y al segundo lo que denominamos *espaciamiento*, *separación* y *longitud del vehículo*. Aparecen gráficamente en la Figura 4.3 y las definimos como sigue:

Intervalo: tiempo que transcurre entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el mismo extremo del siguiente.

Brecha: tiempo que media entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente.

Paso: Tiempo que tarda un vehículo en recorrer su propia longitud.

Se acostumbra a expresar estos parámetros en segundos y su relación es la siguiente:

$$\text{intervalo} = \text{brecha} + \text{paso}$$

A estos parámetros temporales corresponden los siguientes parámetros espaciales:

Espaciamiento: distancia entre dos vehículos sucesivos que se mide del extremo trasero de un vehículo al mismo extremo del siguiente.

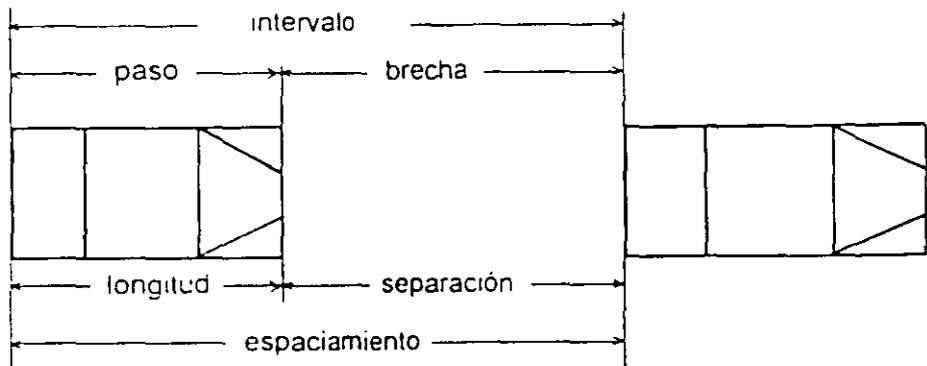
Separación: distancia entre el extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente

Longitud: distancia entre los extremos delantero y trasero de un vehículo.

Estos parámetros se expresan en metros y están relacionados del modo siguiente:

$$\text{espaciamiento} = \text{separación} + \text{longitud}$$

TIEMPO



ESPACIO

Fuente RADELAT Eugües Guido, 1990

Figura 4.3 Representación gráfica de los parámetros microscópicos de las corrientes vehiculares

Generalmente intervalo, brecha, espaciamiento y separación definen las relaciones entre un par de vehículos que van por el mismo carril, como se muestra en la Figura 4.3, y si un vehículo sigue a otro se acostumbra a asignarlos al vehículo de atrás. No obstante, estos parámetros se usan también para expresar relaciones entre vehículos que circulan por carriles distintos y aun entre dos vehículos que circulen en sentidos opuestos por corrientes vehiculares diferentes. En este último caso brechas y separaciones deben medirse entre los extremos delanteros de ambos vehículos.

Si las unidades empleadas son metros, segundos y metros por segundo, se pueden establecer las relaciones siguientes

$$\text{intervalo} = \frac{\text{espaciamiento}}{\text{velocidad}} \quad 4.1)$$

$$\text{brecha} = \frac{\text{separación}}{\text{velocidad}} \quad (4.2)$$

$$\text{paso} = \frac{\text{longitud}}{\text{velocidad}} \quad (4.3)$$

Para que estas ecuaciones sean matemáticamente exactas, las distancias deben medirse en el momento en que pasa la parte trasera del primer vehículo por el punto de referencia y la velocidad debe ser la media individual de la velocidad del segundo vehículo mientras recorre su espaciamiento o separación hasta el punto de referencia. A altas velocidades la diferencia entre intervalo y brecha es insignificante, pero en estudios de capacidad y congestión esa diferencia gana mucha importancia.

4.3.2 Ejemplo

Supóngase que un automóvil de 4.25 m de longitud va detrás de otro por un carril de una autopista urbana y ambos avanzan a una velocidad constante de 100 km/h (27.8 m/s). El conductor de atrás, por razones de seguridad y comodidad guarda una distancia de nueve cuerpos de vehículos con el vehículo que sigue. Se desea calcular los parámetros microscópicos que relacionan esos vehículos en ese momento

Como la longitud del vehículo de atrás es de 4.25 m, la *separación* entre los dos vehículos es de $9 \cdot 4.25 = 38.25$ m y su *espaciamiento* de $38.25 + 4.25 = 42.50$ m. El *paso* del vehículo de atrás (por la Ecuación 3.3) es $4.25 / 27.8 = 0.15$ s, la *brecha* (por la Ecuación 3.2) de $38.25 / 27.8 = 1.38$ m, y el *intervalo* (por la Ecuación 3.1) de $42.5 / 27.8 = 1.53$ m.

Supóngase ahora que ocurre un accidente corriente abajo que obstruye temporalmente uno de los carriles de la calzada de la autopista y los dos vehículos avanzan penosamente a 10 km/h (2.78 m/s). El conductor del vehículo de atrás considera que en este caso es suficiente guardar una distancia de seguimiento igual a la longitud de su vehículo, es decir una separación de 4.25 m. Siguiendo el procedimiento anterior se calculan de nuevo los parámetros microscópicos de esos vehículos. Los parámetros para los dos casos se muestran en la Tabla 4.3.

En el primer caso los valores del intervalo y la brecha están muy cercanos, pues el paso es apenas de 0.15 segundos, en el segundo caso el intervalo es el doble de la brecha. Otro detalle interesante es que aunque la separación haya cambiado de 38.25 m a 4.25 m (reducción del 89%), la brecha sólo ha variado de 1.38 s a 1.53 s (aumento del 11 %). Estos resultados son típicos aunque no sean reales

Tabla 4.3 Valores de los parámetros microscópicos del ejemplo

Velocidad (km/h)	Parámetros temporales (s)			Parámetros espaciales (m)		
	Intervalo	Brecha	Paso	Espaciamiento	Separación	Longitud
100	1.53	1.38	0.15	42.50	38.25	4.25
10	3.06	1.53	1.53	8.50	4.25	4.25

Fuente: Elaboración propia

4.4 Parámetros macroscópicos de las corrientes vehiculares

4.4.1 Introducción

Los parámetros macroscópicos fundamentales de las corrientes vehiculares son el *volumen* (*veh/h*), la *velocidad media* (*km/h*) y la *densidad* (*veh/km*). Son las variables que caracterizan el tránsito y como tales se describieron anteriormente. Ahora se consideran en relación con mecanismo de las corrientes vehiculares. La velocidad en particular, se trató casi desde el punto de vista del vehículo individual; pero como parámetro macroscópico de una corriente vehicular, la velocidad que interesa es la media colectiva de los vehículos de la corriente. Sin embargo, hay más de una media. Cuando se calcula la velocidad media de los vehículos que recorren un trecho de vía, existe la disyuntiva de promediar los valores de las velocidades medias individuales a lo largo del trecho, o bien, dividir la longitud del trecho entre el promedio de los tiempos de recorrido de los vehículos. Uno y otro procedimiento producen valores distintos de la media, si los vehículos no van a la misma velocidad, como sucede siempre en la realidad. Por esa razón conviene aclarar brevemente los conceptos de velocidad media temporal y espacial que están en el trasfondo de esos problemas.

4.4.2 Velocidades medias temporal y espacial

4.4.2.1 Definiciones básicas

La *velocidad media temporal* se ha definido como la media de las velocidades de los vehículos que pasan por un punto de una vía (velocidades puntuales) durante cierto periodo de tiempo (distribución temporal), y la *velocidad media espacial* la que resulta de promediar las velocidades de los vehículos que se encuentran en un tramo de vía (distribución espacial) en un instante dado (velocidades instantáneas). De este modo para conocer una y otra velocidad media con un alto grado de precisión habría que utilizar dos procedimientos completamente distintos. La media temporal debiera calcularse midiendo velocidades puntuales en un punto de la vía, durante cierto tiempo, con un medidor casi instantáneo como el de radar (para obtener información sobre la medida de velocidades vease el Manual N° 3, "Velocidades y tiempos de recorrido") y hallando la media aritmética de las velocidades medidas. La media espacial podría obtenerse utilizando una filmadora de video en un punto alto que abarque cierto tramo de vía y medir en un momento dado los espacios que avanzaron los vehículos que estaban en el tramo durante un segundo. Si se miden esos espacios en metros, representarían las velocidades casi instantáneas de los vehículos en metros por segundo. La media aritmética de esas velocidades sería la media espacial.

Como puede colegirse de todo esto, los conceptos de velocidades medias temporales y espaciales son conceptos incompatibles teóricamente, tal como sucede con los conceptos de volumen y densidad, pero es posible establecer relaciones aproximadas entre ellos. Wardrop (1952, p. 326-362), en un trabajo que es considerado como clásico en ingeniería de tránsito, estableció esas relaciones haciendo implícitamente las siguientes suposiciones: (1) los volúmenes medidos en un punto de un tramo son el promedio de los medidos a lo largo de todo el tramo y (2) la densidad medida en un instante dado es la media de todas las densidades en el tramo considerado durante el tiempo en que se midió el volumen. Sus resultados se presentan a continuación.

4.4.2.2 Ecuaciones prácticas

Como no es fácil medir las velocidades instantáneas de todos los vehículos en un tramo, se estima con frecuencia la velocidad media espacial (y también la temporal) por el procedimiento convencional de medir tiempos de recorrido en una base. De acuerdo con el trabajo mencionado de Wardrop, (p 326-362) se pueden usar esos tiempos de recorrido para calcular *aproximadamente* la velocidad media espacial en la base usando la siguiente expresión

$$v_s = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_i t_i} \quad (4.4)$$

donde \bar{v}_s = velocidad media espacial
 L = longitud de la base
 n = número de observaciones
 t_i = tiempo de recorrido de la base del vehículo i

Si se desea determinar la velocidad media temporal por este método de la base habría que suponer que la velocidad puntual de cada vehículo en el punto medio de la base es igual a la media individual de sus velocidades a lo largo de la base, (que se obtiene dividiendo la longitud de la base entre el tiempo de recorrido del vehículo) y hallando la media aritmética de todas las medias individuales. La suposición introduce un pequeño error que es perfectamente despreciable si las bases no son muy largas. En lenguaje matemático esto es.

$$\bar{v}_t = \frac{1}{n} \sum_i \frac{L}{t_i} \quad (4.5)$$

donde \bar{v}_t = velocidad media temporal
Los demás símbolos son los de la Ecuación 4.4

Es costumbre entre los ingenieros de tránsito definir la velocidad media espacial como el cociente de dividir la longitud de un tramo entre el promedio de los tiempos que invierten en recorrerlo los vehículos que pasan por él durante un período de tiempo dado, como indica la Ecuación 4.4. La razón de ello es que se acostumbra a usar la media espacial cuando se miden velocidades de recorrido. En cambio, si se miden velocidades puntuales, lo natural es calcular la media temporal

4.4.2.3 Ejemplo

Supongase que se ha medido el tiempo en que han tardado respectivamente cinco vehículos en recorrer una base de 60 metros y se desea obtener aproximadamente su velocidad media temporal y estimar su velocidad media espacial en esa base durante el período de observación. Los resultados de la medición y su reducción inicial aparecen en la Tabla 4.3.

Aplicando las Ecuaciones 4.4 y 4.5, la velocidad media temporal y el valor estimado de la velocidad media espacial son los siguientes

Tabla 4.4 Reducción de los tiempos que han tardado cinco vehículos en recorrer una distancia de 60 metros

Vehículo	Tiempo de recorrido (s)	Velocidad (m/s)
1	3	20
2	4	15
3	4	15
4	5	12
5	6	10
Total	22	72

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{v}_t = \frac{1}{5} \times 72 = 14.4 \text{ m/s } (51.8 \text{ km/h}) \quad \bar{v}_e = \frac{60}{\frac{1}{5} \times 22} = 13.6 \text{ m/s } (49.1 \text{ km/h})$$

En este ejemplo la media temporal es algo mayor que el estimativo de la media espacial en la base y así siempre debe suceder cuando se miden ambas en una base, pues las velocidades más altas influyen más en la media de esas velocidades que constituye la media temporal y la elevan, mientras que los tiempos de recorridos más largos (que corresponden a las velocidades más bajas) influyen más en la media de los tiempos de recorrido lo que resulta en una velocidad media menor. Las medias calculada así sólo son iguales en el caso improbable que no haya variaciones en las velocidades.

Eso lo demostro Wardrop (p. 356) en su famoso trabajo, estableciendo la siguiente relación entre las velocidades temporal y espacial (con las suposiciones que hizo):

$$\bar{v}_t = \bar{v}_e + \frac{\sigma_e^2}{\bar{v}_e} \tag{4.6}$$

donde σ_e^2 es la varianza (media de los cuadrados de las diferencias entre las velocidades individuales y su media) de la distribución espacial de velocidades. Como el segundo término del segundo miembro de la ecuación siempre es positivo, la velocidad media temporal será mayor que la espacial excepto cuando la varianza es cero.

A veces es necesario de conocer un estimativo de la velocidad media espacial y sólo se conocen valores de la velocidad puntual medida directamente (por ejemplo, con un medidor de radar). Lo que se hace en ese caso es suponer que esas velocidades puntuales son iguales a las velocidades de recorrido en un tramo que contiene el punto de observación y usar la Ecuación 3.5, dividiendo numerador y denominador del segundo miembro por la longitud L de ese tramo, tal como se muestra a continuación.

$$\bar{v}_e = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_i t_i} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_i \frac{t_i}{L}} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{v_i}} \tag{4.7}$$

La expresión resultante, el inverso de la media de los inversos de las velocidades puntuales, es lo que se llama la *media armónica* de las velocidades puntuales. La

ecuación 3.6 se puede usar si se conoce la media espacial y se desea estimar la temporal

4.4.3 Relaciones entre los parámetros macroscópicos y microscópicos

4.4.3.1 Volumen e intervalo medio

Si por un punto de una vía pasaron n vehículos durante una hora, el volumen de tránsito será n veh/h, pero se puede considerar que también pasaron n intervalos entre vehículos. Si hay 3 600 segundos en la hora, es evidente que el intervalo medio en segundos será $3\,600 / n$, pero como n es el volumen de tránsito en vehículos por hora podemos escribir

$$\text{intervalo medio (s)} = \frac{3\,600}{\text{volumen de tránsito (veh/h)}} \quad (4.8)$$

y también

$$\text{volumen de tránsito (veh/h)} = \frac{3\,600}{\text{intervalo medio (s)}} \quad (4.9)$$

Un razonamiento análogo se puede hacer para cualquier periodo de tiempo t , mayor o menor que una hora: Hay un pequeño error en estas ecuaciones porque es de esperar que en la mayoría de las veces todo el intervalo del primer vehículo no esté comprendido el tiempo t y, en cambio, esté incluido parte del intervalo del vehículo que viene después del último. Se espera que el tiempo añadido compense en tiempo omitido.

De acuerdo con las Ecuaciones 4.8 y 4.9 si el volumen de tránsito es de 400 veh/h el intervalo medio es de 9 s y si el intervalo es de 3 s el volumen es de 1 200 veh/h. Parecería que una relación tan sencilla la tuvieran presente todos los que tienen que ver con corrientes vehiculares, pero no es así por razones incomprensibles.

4.4.3.2 Densidad y espaciamiento medio

Si en un kilómetro de vía, calzada o carril hay n vehículos en un momento dado, la densidad será d veh/km, pero también se puede considerar que la suma de los espaciamientos de estos n vehículos en ese momento será de un km, o sea, 1 000 m y su espaciamiento medio será de $1\,000 / n$. Ya que n es también la densidad, se pueden expresar las siguientes relaciones

$$\text{espaciamiento medio (m)} = \frac{1\,000}{\text{densidad (veh/km)}} \quad (4.10)$$

$$\text{densidad (veh/km)} = \frac{1\,000}{\text{espaciamiento medio}} \quad (4.11)$$

Un razonamiento similar se puede hacer para una distancia mayor o menor que un kilómetro. Estas ecuaciones conllevan errores pequeños parecidos a las de las relaciones volumen / intervalo medio. Según ellas una densidad de 16 veh/km supone un espaciamiento medio de 62.5 m, mientras que un espaciamiento medio de 11.1 m corresponde a una densidad de 90 veh/km.

Si se expresan estos parámetros en las mismas unidades se puede decir que:

- El volumen es el inverso del intervalo medio
- La densidad es el inverso del espaciamiento medio.

4.4.4 Relación entre el volumen, la velocidad y la densidad

Existe una relación entre los parámetros macroscópicos de las corrientes vehiculares que se ha denominado *ecuación fundamental del tránsito*, y que se expresa en la siguiente forma:

$$\text{volumen} = \text{velocidad} \times \text{densidad}$$

En corrientes vehiculares uniformes la ecuación se cumple matemáticamente, como se expone en el siguiente ejemplo:

Supóngase que por el carril de una vía todos los vehículos son del mismo largo, van exactamente a 72 km/h y a un espaciamiento constante de 200 metros, por lo que en cada kilómetro de carril hay siempre cinco vehículos (enteros o en dos porciones combinadas). Un observador parado en un punto de la vía verá pasar 72 kilómetros de vehículos en una hora, y como hay cinco vehículos en cada kilómetro, pasarán por el punto del observador $5 \cdot 72 = 360$ vehículos por hora. Por lo tanto, no hay duda que en este caso:

$$\text{volumen (360 veh/h)} = \text{velocidad (72 km/h)} \cdot \text{densidad (5 veh/km)}$$

Cuando las corrientes vehiculares no son uniformes (como sucede en la realidad) la ecuación fundamental no suele ser exacta debido a la incompatibilidad de los valores del volumen y la densidad, pues el volumen debe medirse en un punto durante cierto periodo de tiempo y la densidad en un tramo de vía en un momento dado. En el ejemplo anterior, como velocidad y espaciamiento son constantes, el volumen también lo es, y conociéndolo se conoce también el intervalo constante entre los vehículos. Entonces, si se multiplica el intervalo por la velocidad se obtiene el espaciamiento constante entre vehículos, y hallando su inverso se calcula la densidad que es la misma en cualquier instante y en cualquier trecho del carril.

En cambio, si el espaciamiento entre vehículos no es constante, el volumen no lo será y, salvo en casos excepcionales, no se dispone de información suficiente para calcular la densidad en un tramo y en un instante determinado, aunque la velocidad de los vehículos sea constante. Para efectuar ese cálculo es preciso saber en qué momento entra cada vehículo en el tramo y en qué momento sale a fin de determinar los vehículos acumulados en el tramo a lo largo del tiempo. Ni el volumen ni la velocidad media dicen nada sobre los momentos de entrada y salida.

Si se considerara que la longitud de los vehículos fuese infinitamente pequeña, tanto la densidad como el volumen podrían medirse en un punto y la ecuación se cumpliría con exactitud matemática, pero esa densidad no tendría sentido. Además, no puede ignorarse la longitud de los vehículos, porque esa variable juega precisamente un papel importante en la circulación de corrientes vehiculares.

De todo esto se desprende que *en el mundo real*, derivar valores específicos de un parámetro macroscópico del tránsito en función de valores observados de los otros dos produce generalmente resultados inexactos y hasta disparatados. Lo que resulta más viable es utilizar la ecuación fundamental del tránsito en términos probabilistas para estimar valores medios en función de otros valores medios que son resultados de un número suficientemente grande de observaciones.

Otro punto importante es que la velocidad media que se debe usar en la ecuación fundamental es *la media espacial y no la temporal*, lo que demostró Wardrop (p 330) en su respetado trabajo. Esta es una de las razones principales por la que se usa esta media en ingeniería de tránsito.

Banks (1995 p 3, 4) demostró que si la velocidad de los vehículos es prácticamente independiente de los cambios momentáneos de volumen, la ecuación fundamental del tránsito se puede utilizar para relacionar *valores medios* de los parámetros fundamentales del tránsito sin incurrir en grandes errores. Sin embargo, esos errores aumentan con la influencia del volumen sobre la velocidad cuando la interacción vehicular es intensa, debido a las distorsiones que causa esa relación adicional.

4.5 Relaciones entre corrientes vehiculares

Consideramos que las principales relaciones entre las corrientes vehiculares son *cruce*, *confluencia*, *separación* y *entrecruzamiento*. Estas se presentan esquemáticamente en la Figura 4.4.

4.5.1 Cruce y confluencia

Entendemos que hay *cruce* cuando la trayectoria de los vehículos de una corriente vehicular corta a la de los vehículos de otra. El cruce puede ser *recto* u *oblicuo*. Esta maniobra requiere que los vehículos de una corriente pasen por las brechas que haya entre los vehículos de la otra. Si las corrientes están separadas en tiempo (por agente de policía o semáforo) o en espacio (por pasos a desnivel), no hay cruce.

Denominamos *confluencia* a la unión de dos o más corrientes vehiculares para formar una sola, o bien, a la incorporación de vehículos de una corriente a otra. De este modo los vehículos se insertan en brechas entre los vehículos de la corriente en que confluyen.

En la Figura 4.5 se muestra un esquema de una intersección de una vía preferente, por la



que circulan dos corrientes vehiculares en sentidos opuestos, con una vía subordinada también con dos corrientes. Los vehículos que van por la preferente siempre tienen el derecho de paso y los de la subordinada.

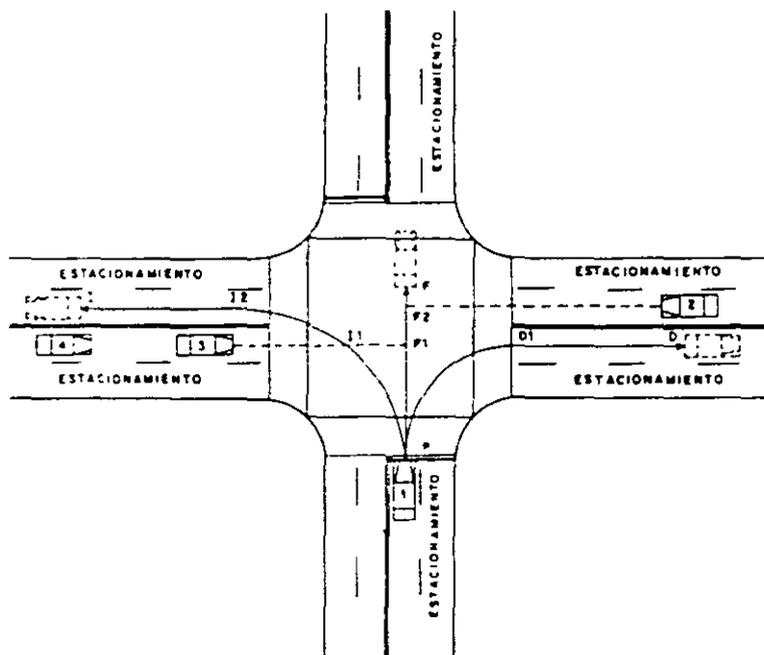
Fuente: Radelat Guido, "Manual de ingeniería de tránsito", obra en ejecución.

4.4 Principales relaciones entre las corrientes vehiculares

deben utilizar brechas para cruzar o incorporarse a las corrientes de la preferente. El movimiento de frente desde el acceso Sur de la vía subordinada cruza perpendicularmente dos corrientes de la vía principal. El movimiento de giro a la izquierda cruza oblicualmente una corriente y confluye en otra, mientras que los que giran a la derecha sólo realizan una confluencia

Para efectuar esos movimientos en forma segura, el vehículo que llega a la intersección por la vía subordinada debe encontrar brechas iguales al *tiempo que requieren las maniobras de cruce y/o confluencia más cierta holgura*.

El *tiempo de cruce* es función de la velocidad que desarrolle el vehículo y la distancia que deba recorrer para pasar al otro lado de la corriente que cruza. La velocidad a su vez depende de (1) la agresividad del conductor, (2) la relación peso/potencia de su vehículo, (3) el hecho que haya tenido que detenerse o no antes del cruce y, (4) la limitación que puede imponer la fuerza centrífuga que se desarrolle en una trayectoria curva. El *tiempo de confluencia* depende de factores análogos



Fuente: Radelat Guido, "Manual de ingeniería de tránsito", obra en ejecución

4.5 Movimientos en una intersección de vías de tránsito preferente y subordinada desde el acceso Sur de la vía subordinada

La holgura se deja por razones de seguridad y en el cruce es principalmente para compensar errores en apreciación de distancias y velocidades. En la confluencia hay que dejar una holgura adicional para permitir que el vehículo que confluye desarrolle una velocidad compatible con la de la corriente vehicular a la que se incorpora. Desde luego,

hay muchos conductores arriesgados que no dejan holgura alguna y aún holguras negativas que obligan a frenar a los vehículos que vienen por la vía preferente. Como las consecuencias de no dejar holguras seguras son más graves en los cruces que en las confluencias, en general los conductores tienden a usar mayores holguras para cruzar.

La brecha para efectuar la maniobra necesaria puede ser de dos tipos: *íntegra* y *restante*. La primera es la que existe entre dos vehículos de la corriente preferencial y se mide cuando los extremos trasero y delantero de estos vehículos pasan por el *punto de conflicto*, es decir, donde se espera se corten las trayectorias de los vehículos que se van a cruzar o donde se unan las de los que van a confluír. Estos son, en la Figura 4.5 los puntos F1, F2, I, I1 y D. La brecha restante es la porción de la brecha normal que queda en el momento en que se iniciaría la maniobra deseada, es decir lo que tarde desde entonces en llegar al punto de conflicto el primer vehículo preferente.

Cuando un conductor aprovecha una brecha para efectuar una maniobra de cruce o confluencia, se dice que *acepta* la brecha. Si el conductor decide no utilizar la brecha se considera que *rechaza* la brecha. En trabajos de análisis de circulación y diseño geométrico se ha usado mucho lo que se llama *brecha crítica*. Esta es la *mediana* de las brechas aceptables mínimas, es decir, el valor de la brecha que se espera acepte un 50% de los conductores y rechace otro 50%. Para estimarla se miden las brechas que se aceptan y rechazan para cruzar o confluír en una corriente vehicular (muestra estadística). Entonces, para cada valor de la brecha (.4, 5, 6, . segundos) se determina la proporción de conductores que la aceptaron y la rechazaron. Interpolando estadísticamente entre esos valores se estima el tamaño esperado de la brecha con probabilidad de 0.5 de ser aceptada o rechazada. Últimamente hay cierta tendencia a usar otros valores de brecha aceptable representativa. La Tabla 3.5 presenta valores de brechas equivalentes a la crítica que contiene la actualización de 1994 del Highway Capacity Manual (HCM).

4.5 Brechas en segundos, equivalentes a las críticas,
usadas en los Estados Unidos para trabajos de capacidad vial

Tipo de maniobra	Carriles en vía preferente	
	2	4
Giro a izquierda desde la vía preferente	5.0	5.5
Movimiento de frente desde la vía subordinada	6.0	6.5
Giro a izquierda desde la vía subordinada	5.5	7.0

Fuente: Transportation Research Board (1994, p. 10-9)

4.5.2 Divergencia

La *divergencia* o *separación* es el proceso opuesto a la confluencia, o sea, el desdoblamiento de una corriente vehicular en corrientes independientes, o simplemente la separación de un vehículo de una corriente. Es comúnmente una maniobra mucho más sencilla que la confluencia y muchas veces la precede.

Los vehículos que abandonan una corriente pueden causar demoras a los que van detrás de ellos y aun provocar accidentes por alcance en tres casos principales: (1) si deben reducir su velocidad para recorrer una curva fuerte o detenerse más adelante, (2) si precisan esperar una brecha vehicular aceptable para efectuar maniobras de cruce, confluencia o giro a la izquierda y (3) si esperan a que pasen los peatones antes de girar a la derecha. Si estas demoras resultan considerables y/o peligrosas su reducción puede

ser posible construyendo en ciertos trechos carriles de deceleración o de giro a izquierda o a derecha.

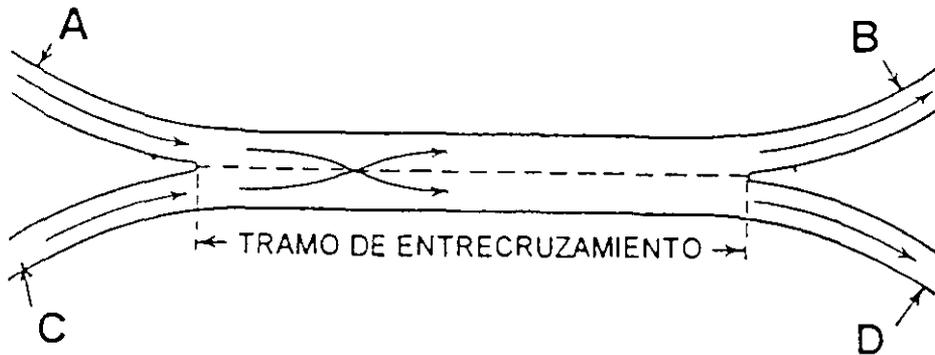
4.5.3 Entrecruzamiento

El *entrecruzamiento*, llamado también *entrecruce*, *trenzado* o *mezclamiento*, ocurre cuando dos corrientes vehiculares, que van en el mismo sentido, confluyen, siguen combinadas por cierto tiempo y luego se separan. Al ocurrir esta confluencia y separación cierto número de vehículos pasan de la corriente izquierda a la derecha y viceversa, mediante cambios de carril, cruzando mutuamente sus trayectorias. El trecho de calzada donde tienen lugar los entrecruzamientos se llama *tramo de entrecruzamiento*. En la Figura 4.6 se muestra uno de esos tramos. Estos tramos pueden existir en cualquier tipo de vía: autopistas, carreteras de carriles múltiples, arterias urbanas, gloriets convencionales, etc., pero son más frecuentes en autopistas y allí es donde tienen mayor importancia.

En el tramo de entrecruzamiento de la Figura 3.6 se pueden distinguir cuatro corrientes: A y C que confluyen en el tramo, y B y D que se separan al salir del mismo. Los vehículos que se entrecruzan son los que van de A a D y de C a B, y para poder dirigirse a sus destinos deberán cambiar de carril. Habrá, por lo tanto, cambios de carril contrarios, que no sólo pueden entrar en conflicto, sino que también afectan los vehículos que no necesitan cambiar. Como todos los cambios de carril deben hacerse dentro del tramo de entrecruzamiento, no es raro que algunos vehículos disminuyan la velocidad y aun se detengan para no perder la oportunidad de cambiar. Todo esto puede causar bastante turbulencia que se traduce en inseguridad y demoras.

La seguridad y eficiencia de un tramo de entrecruzamiento depende en gran parte de los factores siguientes:

- *Diferencia entre las velocidades de las corrientes que confluyen.* Mientras menor sea esta diferencia, menor será la brecha mínima aceptable para cambiar de carril y más frecuente la ocurrencia de brechas aceptables.
- *Longitud del tramo de entrecruce.* Mientras más largos sean los tramos, mayor libertad tendrán los conductores para maniobrar, lo que permitirá que mayor número de vehículos pueda entrecruzarse a mayor velocidad.
- *Número apropiado de carriles en el tramo.* Por ejemplo, si en el tramo de la Figura 4.6 hubiera sólo dos carriles, habría más turbulencia que si hubiese cuatro, pues en este último caso la interacción vehicular no sería tan intensa. Por otra parte, un aumento en el número de carriles obligaría a efectuar más cambios de carril a los vehículos que se entrecruzan lo que complicaría más las maniobras y sus efectos.



Fuente: Radelat Guido "Manual de ingeniería de tránsito", obra en ejecución

4.6 Tramo de entrecruzamiento elemental típico

- *Volumen de vehículos que intervienen* Si los demás factores son constantes, a mayor volumen (especialmente de vehículos que se entrecruzan) habrá mayor interacción vehicular, y por ende mayor turbulencia
- *Configuración del tramo de entrecruzamiento*. Esto es, la posición relativa de los carriles de entrada y salida del tramo, lo que influye en la cantidad de cambios de carril que ocurren y, por lo tanto, en la interacción vehicular

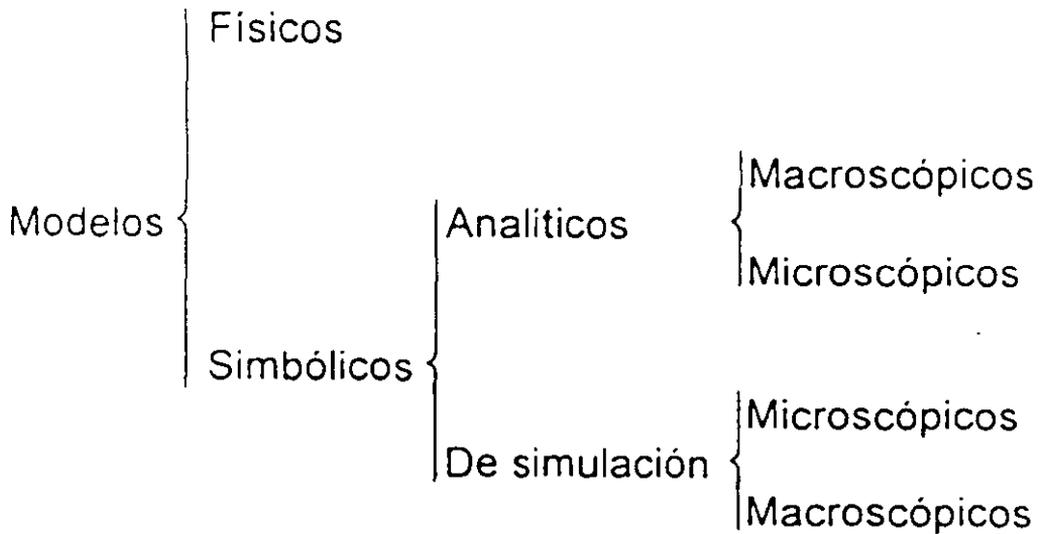
El fenómeno del entrecruzamiento es complejo, por lo que la determinación de los parámetros que lo definen no es fácil ni precisa. No obstante, juega un papel importante en la capacidad y nivel de servicio de autopistas y glorietas

4.6 Modelos de Caracterización del Tránsito vehicular

4.6.1 Modelos

Aun desde antes de que se reconociera la ingeniería de tránsito como una profesión, se han estado tratando de aplicar principios científicos para caracterizar "debidamente" los fenómenos de la circulación vehicular. Uno de estos principios es el de la *modelación*, que es el proceso de crear *modelos*

Entendemos por modelo la representación artificial de un *sistema* real. Llamamos sistema a un conjunto de elementos que realizan colectivamente una o más funciones. Esas funciones es lo que precisamente define un sistema, que es, en fin de cuentas, una concepción mental aunque sus elementos sean reales



Fuente: Radelat Guido "Manual de ingeniería de tránsito" obra en ejecución

4.7 Distintas clases de modelos que se usan en ingeniería

El modelo se siempre, en mayor o menor grado, una abstracción del sistema real equivalente en la forma más simple que pueda cumplir con su cometido y posee sólo aquellas características del sistema real que se desean estudiar.

Los modelos más empleados en ingeniería son los físicos y los simbólicos. Los *modelos físicos* son generalmente réplicas físicas del sistema que representan a distinta escala. Los que se usan en hidráulica y aerodinámica son bien conocidos. Los *modelos simbólicos* representan los elementos del sistema real por medio de símbolos que expresan relaciones matemáticas y lógicas similares a las de sus elementos reales homólogos. Estos son los que se usan generalmente en ingeniería de tránsito en forma de *modelos analíticos* y *de simulación*.

4.6.2 Modelos analíticos y de simulación

Llamamos *modelos analíticos* a aquéllos que describen un sistema real por medio de un conjunto de expresiones matemáticas. La mayoría de ellos producen sus resultados inmediatamente después de una aplicación de esas expresiones. Otros necesitan varias aplicaciones sucesivas del modelo en forma de *iteraciones*.

Denominamos *modelos de simulación* a la representación del sistema real por medio de la reproducción sucesiva de los *hechos* de interés que van teniendo lugar en el sistema real. La reproducción se realiza de acuerdo con relaciones matemáticas y decisiones lógicas.

Los modelos analíticos suelen proporcionar sus resultados sin referencia al tiempo, mientras que los de simulación representan los hechos que acontecen durante un tiempo especificado y van produciendo resultados durante ese periodo, que se van registrando y se sintetizan al final del mismo. Es como si el modelo analítico fuera una fotografía y el de simulación una película.

Generalmente los modelos de simulación representan *variaciones aleatorias* que son independientes del valor de las entradas del modelo. Estas variaciones se simulan mediante la generación interna de *números aleatorios* (cuyo valor se determina al azar) y el conocimiento del patrón de variaciones de la variable que se simula. Por esta razón, si se efectúan varias simulaciones con las mismas entradas, pero con distintas series de números aleatorios, las salidas del modelo variarán al azar, y es preciso realizar análisis estadísticos de ellas como si fueran datos de campo.

Tanto los modelos de simulación como los analíticos complejos se ejecutan en un computador, mediante un *programa informático* que refleja las características del modelo. A veces el programa es la única descripción detallada que existe del modelo, razón por la que a estos modelos se les llama *programas* con tanta frecuencia como impropiedad. Los dos tipos de modelos pueden ser *macroscópicos* o *microscópicos* según se basen en parámetros macroscópicos o microscópicos de las corrientes vehiculares.

Es difícil entender la diferencia entre modelos analíticos y de simulación si no se ha trabajado con ambos. Quizás un ejemplo trivial arroje un poco de luz sobre esa diferencia.

4.6.3 Ejemplo

Supóngase que un jugador en un casino está apostando en la ruleta a *rojo o negro* y supóngase que la probabilidad de que gane en una apuesta es de 0.5 (lo que no es cierto) y que cuando gana le duplican el valor de la apuesta (lo que tampoco es cierto). Va a emplear el sistema que algunos llaman de la "dobladilla", mediante el cual empieza con una apuesta de \$ 1 000; si gana vuelve a apostar \$1 000 y si pierde duplica su apuesta, y la continua duplicando si sigue perdiendo hasta que gana una vez, recupera lo apostado y realiza una ganancia de \$ 1 000. El problema es que cada vez que no gana, su apuesta crece en proporción geométrica y puede llegar a perder una suma considerable. Si sólo tiene \$1 000 000 y pierde 10 veces seguidas perderá \$1 000 024 ($1\ 000 \cdot 2^{10}$), quedará arruinado y no podrá seguir jugando. Entonces, quiere averiguar cuál es la probabilidad de perder 10 veces seguidas utilizando respectivamente un procedimiento analítico y otro de simulación.

El procedimiento analítico se basaría en el cálculo de las probabilidades y es muy sencillo y directo. Si apuesta siempre a rojo, la probabilidad de que salga negro y pierda es, como se ha dicho, de 0.5. La probabilidad de que salga negro, dos veces seguidas en una *probabilidad condicional* cuyo valor es el producto $0.5 \cdot 0.5 = 0.25$. Usando el mismo razonamiento, la probabilidad de que salga negro 10 veces seguidas es de $0.5^{10} = 0.000\ 977$.

Para encontrar esa probabilidad por simulación el procedimiento sería mucho más laborioso. Podría tomarse una moneda, asignar el negro a una de sus caras, tirarla al aire 10 000 veces, llevar la cuenta del número de veces que quede arriba la cara "negra" por lo menos diez veces seguidas y dividir ese número entre 10 000. Más práctico, sin embargo, sería escribir un programa informático con la siguiente lógica para hallar la variable **Probabilidad** (de una sucesión de 10 o más números impares), utilizando como variables **NA** (total de números aleatorios generados), **NI** (total de una sucesión de números impares generados) y **NI10** (total de sucesiones de 10 o más números impares generadas)

1. **NA** = 0 **NI10** = 0
2. **NI** = 0
3. Generar un número aleatorio: incrementar **NA** en una unidad
4. Si **NA** > 10 000 **Probabilidad** = **NI10** / 10 000: FINALIZAR

5. Si el número es impar incrementar NI en una unidad, SINO, IR a 2
6. Si NI es igual a 10 incrementar NI10 en una unidad
7. IR a 3

4.6.4 Ventajas y desventajas de los modelos analíticos y de simulación

En el caso del ejemplo no hay duda de que se debe utilizar el procedimiento analítico y en general se debe siempre tratar la ruta analítica primero. Los modelos analíticos son más elegantes que los de simulación y su lógica es mucho más breve y concisa. Eso significa que sus programas son mucho más fáciles de depurar que los largos programas que requiere la lógica de la simulación

Sin embargo, cuando el sistema a modelar es muy complejo, como sucede con frecuencia cuando se trata de fenómenos del tránsito vehicular, la formulación matemáticas de todas las relaciones significativas que existen en el sistema es sumamente difícil y a veces resulta imposible desde el punto de vista práctico. También el esfuerzo y capacidad mental que exige una formulación matemática de ese calibre necesita la intervención de modeladores de talento extraordinario que son caros y difíciles de conseguir. En cambio, en esos casos la simulación resulta más útil pues al reducir el problema a la representación de sucesos individuales, hace más fácil la concepción intelectual del modelo aunque alargue mucho los procesos lógicos

Uno de los modelos de simulación del tránsito que más se ha usado y se usa es el modelo Netsim, que se describe a continuación

4.6.5 El modelo Netsim

Netsim ("Network simulation") es un modelo de simulación microscópico del tránsito en redes urbanas. Sus entradas requieren gran cantidad de detalles tales como las características geométricas de la red urbana que se va a simular, los volúmenes y composición vehicular del tránsito que entra en ella desde su periferia, la velocidad media a flujo libre en todas las vías, el porcentaje de los movimientos de giro en todas las intersecciones, las señales que existen, los semáforos y su programación, los detectores que proporcionan información a los semáforos, los niveles de tránsito peatonal, las rutas e itinerarios de los buses así como su tiempo de permanencia en los paraderos y muchísimos otros datos

Con base en esos datos, se generan los momentos de entrada de los vehículos en la periferia en forma aleatoria y se asigna, también aleatoriamente, su tipo (automóviles y camiones de distintos tipos, etc.) y el tipo de conductor (desde los más timoratos hasta los más temerarios). Los datos sobre cada vehículo (tipo de vehículo, tipo de conductor, posición, velocidad, aceleración, etc.) se registran en un vector. También hay un vector para cada semáforo que contiene sus indicaciones actuales para cada acceso a la intersección donde está. Los elementos de estos vectores se actualizan cada segundo.

Los vehículos van "avanzando" segundo a segundo por las vías, de acuerdo con la velocidad y aceleración deseadas por su conductor, guardando la debida distancia con los que los preceden, obedeciendo las reglas del tránsito, cediendo el paso a los peatones, cambiando de carril (si pueden) cuando hay obstrucciones causadas por paradas de buses y taxis, vehículos varados, etc., deteniéndose si hay reboses de cola de las calles transversales, etc. En fin, la lógica es sumamente complicada y no es concebible que

podiera realizarse la modelación a ese nivel de detalles y exactitud con un modelo analítico

Entre las salidas que Netsim proporciona se pueden mencionar distintos indicadores de efectividad tales como velocidades, tiempos de recorrido, tiempos de detención, número de detenciones y muchas otras variables. También puede estimar consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes. Los valores medios de estas salidas se calculan por movimiento, por carril, por acceso y para toda la red simulada. Se ofrecen al final de cada periodo de tiempo simulado, y hay otras salidas similares para cada instante que se desee analizar, así como gráficos estáticos y animados.

4.6.6 Calibración, verificación y validación

Los modelos tanto analíticos como de simulación se basan en relaciones entre variables y valores de constantes. Muchas de esas relaciones se pueden establecer mediante la aplicación de las leyes de la física y la lógica, pero otras hay que observarlas en el terreno, especialmente cuando dependen del comportamiento humano. Por ejemplo, ni la lógica ni la física pueden establecer por sí solas la relación entre la velocidad de un vehículo y la brecha que deja su conductor con el vehículo precedente. Hay constantes, cuyos valores no se conocen si no se observan en el mundo real, tales como el tiempo de reacción de los conductores, las holguras que dejan en las brechas que aceptan, la velocidad a que desean ir, la aceleración que imprimen a sus vehículos, etc. Al proceso de asignar valores empíricos a esas relaciones y constantes es lo que se llama *calibración del modelo*

Ahora bien, los valores de esas relaciones y constantes empíricas que se observan en la ciudad de Washington no son necesariamente las mismas que existen en otras ciudades del mundo como Bogotá. Por lo tanto, para que un modelo funcione con una exactitud aceptable muchas veces es necesario calibrarlo para el medio donde se va a usar, si éste es distinto al medio para el que fue calibrado inicialmente.

Para investigar si el modelo va a funcionar con *exactitud aceptable* en un medio determinado se puede *verificar*, esto es, determinar el grado de verdad que hay en sus resultados. Para ello se comparan esos resultados con algunos valores correspondientes observados en las vías donde y cuando se aplicó. Si se estima que la discrepancia entre esos pares de valores es demasiado grande el modelo no será aceptable. Si el modelo no se ha calibrado para el lugar donde se va a usar, es posible que su calibración lo haga aceptable. Ahora bien, si después de calibrado se quiere verificar el modelo, esta verificación debe hacerse *con valores independientes de los que se usaron para la calibración*, de otro modo la verificación sería un engaño.

Aun si la verificación con algunos valores parezca dar resultados aceptables, puede ser necesario hacer una verificación más completa y rigurosa que es lo que se llama *validación*, a fin de que los resultados del modelos sea *válidos* a cierto nivel estadístico de confianza. Establecer un proceso de validación en consonancia con la precisión del trabajo que se vaya a hacer es un problema estadístico complejo cuya exposición está fuera del alcance de este manual

4.6.7 Procedimientos de optimización

Algo que hay que tener muy presente es que *los modelos por sí solos no optimizan nada*. Únicamente estiman los resultados que producirían soluciones alternativas a los problemas del tránsito y el ingeniero deberá comparar estas alternativas y decidir cuál es la mejor. En cambio, existen *procedimientos de optimización* con algoritmos que determinan, para ciertas variables, los valores de ellas que optimizan indicadores de efectividad. Muchos de estos procedimientos contienen uno o más modelos en su seno.

Uno de estos procedimientos muy popular entre los ingenieros de tránsito es el llamado TRANSYT, que optimiza los tiempos de un sistema de semáforo. TRANSYT está basado en un modelo de simulación macroscópico del tránsito y en algoritmos de optimización. Aunque es fundamentalmente un instrumento de optimización, se ha usado con frecuencia para comparar soluciones alternativas usando su modelo de simulación.

4.7 modelos analíticos microscópicos

4.7.1 El modelo de Pipes para el seguimiento vehicular

4.7.1.1 Seguimiento vehicular

Consideramos que un vehículo sigue a otro cuando va detrás de él, por el mismo carril, más o menos a su misma velocidad, porque el conductor de atrás no quiere ir más lentamente que el que sigue y no puede o quiere adelantarlo. Generalmente la *brecha de seguimiento* no es mayor de 10 segundos, pero su valor es muy variable porque depende principalmente (1) del estado de ánimo circunstancial del conductor, (2) de su actitud personal al conducir, (3) del tipo de vehículo que maneja, y (4) de las condiciones de la vía y el medio ambiente.

En general, un conductor no quiere ir demasiado cerca del vehículo que sigue por el mismo carril por razones de seguridad, es decir, que subconscientemente se impone una *brecha mínima*. Además, las brechas cortas exigen mayor atención del conductor y producen mayor tensión psicológica, lo que puede ser fatigoso en viajes largos; en cambio, las brechas largas proporcionan mayor libertad, tranquilidad y comodidad al conductor. Por estas razones la mayoría de los conductores prefiere no usar sus brechas mínimas, pero tienden a usarlas cuando el afán por llegar pronto al destino de sus viajes los excita.

Por otra parte, el valor de las brechas también depende de la actitud habitual del conductor, por lo que no todos los conductores dejan la misma brecha en iguales circunstancias. Así hay una gran variabilidad en el valor de las brechas

mínimas, que se debe a las diferencias en los estilos personales de manejar de los conductores, desde las que invitan a adelantar hasta las minúsculas que dejan los conductores agresivos e impacientes cuando siguen a un vehículo que les parece demasiado lento, para apurar o fastidiar a su conductor. Se ha observado en una autopista urbana de los Estados Unidos (Radelat, 1990, datos sin publicar) brechas mínimas hasta de 0.4 segundos, y brechas de seguimiento medias de unos 1.3 s, siempre en un mismo carril.

La definición matemática del seguimiento vehicular es un tema que ha atraído la atención de muchos ingenieros y científicos, que han producido numerosos modelos analíticos sobre él. Aquí sólo se presenta uno de los más sencillos.

4.7.1.2 El modelo de Pipes

Este modelo se basa en una pauta de conducción sugerida por el Código de Vehículos Automotores de California, Estados Unidos, que dice así:

Una buena regla para seguir otro vehículo a una distancia prudencial es guardar al menos un cuerpo de automóvil por cada diez millas por hora (16 km/h) de la velocidad a que vaya su vehículo.

Desde luego, esta separación es la *que se debe dejar*, no la que se *deja* habitualmente, pero Pipes (1953, p. 274-287) estimó que no se alejaba mucho de lo que sucede en la realidad. La ecuación que define la separación mínima S_{min} , en metros, de acuerdo con el modelo de Pipes es

$$S_{min} = \frac{vL}{16} \tag{4.12}$$

donde, v = Velocidad del vehículo (km/h)
 L = Longitud del vehículo (m)

4.7.1.3 Ejemplo

Utilizando el modelo de Pipes y suponiendo una longitud de vehículo de 4.25 m, calcular separación, espaciamiento, brecha e intervalo para velocidades de 20 a 100 km/h. La separación se calcula con la Ecuación 4.12 haciendo $L = 4.25$ y aplicándolo para cada valor de la velocidad. El espaciamiento es separación más 4.25, la brecha es separación entre velocidad (convertida a m/s) y el intervalo es espaciamiento entre velocidad. Los resultados aparecen en la Tabla 4.6

4.6 Resultados de la aplicación del modelo de Pipes

Velocidad (km/h)	Separación (m)	Espaciamiento (m)	Brecha (s)	Intervalo (s)
20	5.31	9.56	0.96	1.72
30	7.97	12.22	0.96	1.47
40	10.63	14.88	0.96	1.34
50	13.28	17.53	0.96	1.26
60	15.94	20.19	0.96	1.21
70	18.59	22.84	0.96	1.17
80	21.25	25.50	0.96	1.15
90	23.91	28.16	0.96	1.13
100	26.56	30.81	0.96	1.11

Fuente: Elaboración propia

Observando la Tabla 4.6 un detalle que resalta es que la brecha no cambia, lo que no es sorprendente, pues ésta es una condición implícita en el modelo de Pipes. Si la separación aumenta en proporción a la velocidad, la brecha tiene que ser constante. Lo

que si es sorprendente es que, aunque la brecha es pequeña porque los automóviles seleccionados son más cortos que los observados en los Estados Unidos, si se considera la brecha como mínima no se aleja mucho de las brechas mínimas observadas en ese país

4.7.2 Modelos de llegadas de vehículos

La forma como llegan los vehículos a un punto de una calzada de circulación continua depende de varios factores tales como la intensidad y distribución temporal y espacial de la demanda de tránsito, las características de la vía, y muy especialmente la interacción vehicular. Según indica May (1990, p 14, 15) esa interacción está influida poderosamente por la demanda del tránsito representada por el volumen. Cuando los volúmenes son bajos la inmensa mayoría de los vehículos circula a flujo libre y sus intervalos tienden a presentarse aleatoriamente. En cambio, si el volumen por carril alcanza valores máximos, la interacción es muy intensa, pues el flujo es forzado, la gran mayoría de los vehículos forman parte de pelotones y sus intervalos tienden a ser constantes dentro de los pelotones (aunque nunca lo son en realidad). Entre esos extremos hay multitud de estados intermedios con distintas proporciones de vehículos libres y restringidos

4.7.2.1 La distribución de Poisson

De acuerdo con lo que se ha dicho, cuando el volumen es bajo no se incurre en grandes errores si se supone que las llegadas de los vehículos a un punto de un carril son aleatorias, para lo que es preciso que (1) la posición de un vehículo sea independiente de las de los demás vehículos, (2) el número de vehículos que llegue a dicho punto en cierto período de tiempo sea independiente del que llegue durante cualquier otro período de la misma duración. Esto es lo mismo que decir que la probabilidad de que llegue cierto número de vehículos a ese punto en un lapso dado es constante durante el tiempo considerado

La distribución estadística que responde mejor a esas condiciones aleatorias es la distribución discreta de Poisson, bien conocida entre los entendidos en estadística. Esta distribución fue la primera que se empleó en ingeniería de tránsito, y halla la probabilidad de que ocurran x repeticiones de un suceso en una ocasión, utilizando un solo parámetro m , que representa el promedio de repeticiones en cada ocasión.

Aplicada a las llegadas de vehículos a un punto de un carril, la distribución de Poisson se expresa por la siguiente ecuación

$$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \tag{4.13}$$

donde $P(x)$ = probabilidad de que lleguen x vehículos en un lapso t
 m = promedio del número de vehículos que llegan durante t
 e = base de los logaritmos neperianos = 2.71 828

4.7.2.2 Ejemplo

En un acceso a una intersección semaforizada, los vehículos que van a girar a la izquierda deben esperar que una indicación especial del semáforo lo permita. Las variaciones de los vehículos que esperan no muestran ninguna regularidad conocida, por lo que se supone que son aleatorias. Sólo se ha estimado que el promedio del número máximo de los vehículos que esperan es de unos 6. A fin de evitar conflictos entre esos vehículos y los que siguen de frente, se desea construir un carril de giro a izquierda que pueda albergar una cola sin que ocurran *frecuentes* reboses de cola hacia el carril adyacente. Se busca determinar la longitud óptima de ese carril, suponiendo que cada vehículo detenido ocupará un espacio medio de 7.0 m.

Aparentemente, la distribución del número de vehículos en la cola se aproxima a la de Poisson. Para estimar las probabilidades de la existencia de distintos números máximos de vehículos en cola se aplicará la Ecuación 3.13 con $m = 6$ y $x = 0, 1, 2 \dots 12$. Los resultados aparecen en la Tabla 4.7 a la que se ha agregado una tercera columna (sumando los valores de la segunda) que muestra la probabilidad de que exista una cola de un número de vehículos igual o menor al indicado.

4.7 Probabilidades de la existencia de una cola de x vehículos que van a girar a izquierda según la distribución de Poisson con $m = 6$

Nº máximo de vehículos en la cola (x)	Probabilidad de que haya x vehículos	Probabilidad de que haya x o menos veh
0	0.0025	0.0025
1	0.0149	0.0174
2	0.0446	0.0620
3	0.0892	0.1512
4	0.1339	0.2851
5	0.1606	0.4457
6	0.1606	0.6063
7	0.1377	0.7440
8	0.1033	0.8473
9	0.0688	0.9161
10	0.0413	0.9574
11	0.0225	0.9799
12	0.0113	0.9912

Fuente: Elaboración propia

Al examinar los valores de la tabla 4.7 y tener en cuenta las condiciones de la intersección, el ingeniero de tránsito decidió que un carril de 80 m con capacidad para 11 vehículos era razonable, pues sólo se rebosaría aproximadamente un dos por ciento del tiempo.

4.7.2.3 La distribución exponencial negativa

En la ecuación de la distribución de Poisson, si se tiene en cuenta que $0! = 1$, la probabilidad de que no llegue ningún vehículo durante un lapso t será:

$$P(0) = \frac{m^0 e^{-m}}{0!} = e^{-m} \quad (4.14)$$

Pero el hecho de que no llegue ningún vehículo en el período t significa que el intervalo de tiempo entre vehículos, t , tiene que ser igual o mayor que t , o sea, que

$$P(0) = P(t \geq t) \quad (4.15)$$

Ya que m es el número promedio de vehículos que llegan durante el tiempo t , si se expresa este tiempo en segundos y llamamos q al volumen de tránsito o intensidad que circula por el carril considerado en vehículos por hora, m , se puede expresar en la forma siguiente

$$m = \frac{tq}{3600} \quad (4.16)$$

Substituyendo en la Ecuación 3.14 los valores de $P(0)$ y m dados respectivamente por las Ecuaciones 3.15 y 3.16, tenemos,

$$P(t \geq t) = e^{-\frac{tq}{3600}} \quad (4.17)$$

La distribución definida por esta ecuación se denomina *distribución exponencial negativa*, y representa una *función continua* aunque se haya derivado de la distribución de Poisson, que responde a una *función discreta*. En efecto, el valor de t en la Ecuación 4.17 puede variar continuamente desde cero hasta infinito.

Si se tiene en cuenta que el tiempo t dividido entre el intervalo medio τ es igual al número medio de vehículos, m , que llegan durante t , por las Ecuaciones 4.14 y 4.15 tenemos:

$$P(t \geq t) = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.18)$$

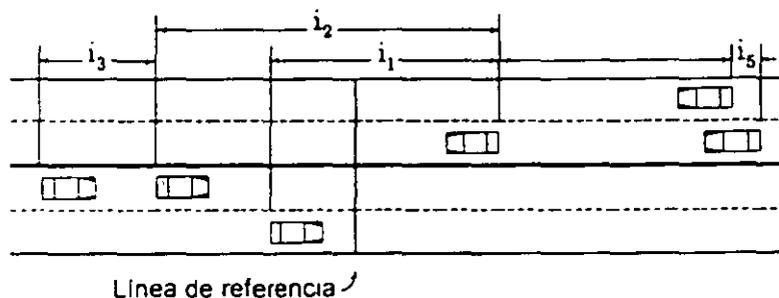
Como se ha dicho, las brechas entre vehículos que circulan por un mismo carril tienen un valor mínimo que determina el mecanismo de seguimiento. Estas brechas se traducen en intervalos mínimos se encuentran normalmente entre 1 y 2 segundos, y su distribución tiende a ser simétrica con respecto a su media (alrededor de 1.5 s), pues reflejan distribuciones casi simétricas de las brechas que dejan los conductores y las características de los vehículos. Por lo tanto, la distribución exponencial negativa no se considera apropiada para representar intervalos mínimos de seguimiento.

4.7.2.4 Distribución en corrientes de más de una fila

En todos estos razonamientos se han considerado corrientes vehiculares de una sola fila de vehículos en movimiento, es decir, los que van por un solo carril. No obstante, la Ecuación 4.13 no especifica la procedencia de los vehículos; sólo establece que sus llegadas deben ser aleatorias, por lo que es aplicable a llegadas de vehículos sin importar

de donde vengan ellos de un carril, de varios carriles y hasta de corrientes en distintos sentidos. Lo mismo se puede decir de la Ecuación 4.17 como se explica más adelante. Cuando se aplica esa ecuación a intervalos en una calzada completa, para obtener el valor del volumen q sólo hay que sumar las intensidades de todos los carriles por donde vienen los vehículos. En este caso, las llegadas de los vehículos son con respecto a una línea transversal a la calzada que abarque todo el ancho de ella y los intervalos se identifican como indica la Figura 4.8, pero midiendo su valor como *la diferencia entre sus momentos de llegada a la línea transversal*.

Por ejemplo, si en una calzada de dos carriles y dos sentidos circula un volumen de q_1 por el carril número 1 y q_2 por el carril número 2, la probabilidad de que los intervalos sean iguales o mayores que un lapso t , de acuerdo a la Ecuación 4.7, sería.



La escala horizontal está comprimida

Fuente: Radelat, Guido, "Manual de ingeniería de tráfico", obra en preparación

4.8 Identificación de los intervalos en una calzada de más de un carril. Los subíndices indican el orden en que se manifiestan los intervalos.

$$P(i \geq t) = e^{-\frac{(q_1 + q_2)t}{3600}} \quad (4.19)$$

Por lo tanto, la distribución exponencial negativa también es aplicable al volumen combinado de dos corrientes que circulen por una calzada en sentidos opuestos, si se miden sus llegadas a la misma línea perpendicular. Por otra parte, no hay que olvidar que sólo los intervalos de corrientes vehiculares de una fila pueden ser de seguimiento de vehículos. Por esta razón, cuando se miden los intervalos en la forma mostrada en la Figura 3.8 su distribución es distinta a la distribución por carril, pues no hay límite inferior de los intervalos (que pueden tomar hasta un valor de cero) y la interacción vehicular no se refleja tanto en el tamaño de los intervalos. En este caso la distribución exponencial negativa representa mejor la distribución real de los intervalos. Algo análogo sucede con la distribución de Poisson.

4.7.2.5 Ejemplo

Un vehículo que va por una calle subordinada llega a la intersección con una calle preferente donde hay una señal de "Ceda el Paso". La calle preferente tiene cuatro carriles por donde circulan 720 vehículos de 4.5 m de longitud por hora en ambos sentidos, a una velocidad media de 40 km/h. Su conductor quiere cruzar los cuatro

carriles y necesita para hacerlo una brecha mínima de 6.5 segundos. Al llegar junto a la señal acaba de pasar un vehículo frente a él. ¿Cuál es la probabilidad de que pueda cruzar sin detenerse, suponiendo que las llegadas de los vehículos siguen la distribución exponencial negativa ?

Si la velocidad de los vehículos de 4.5 m es de 40 km/h (11.11 m/s), su paso será de $4.5 / 11.11 = 0.4$ s, de manera que el conductor necesitará para cruzar intervalos mínimos de $6.5 + 0.4 = 6.9$ s. Aplicando la Ecuación 3.17 con $t = 6.9$ y $q = 720$ se obtiene:

$$P(t \geq 6.9) = e^{-\frac{6.9 \cdot 720}{3600}} = e^{-1.38} = 0.25$$

Es decir, que la probabilidad de que el intervalo siguiente sea igual o mayor de 6.9 s y satisfaga la brecha mínima aceptable de 6.5 s se estima en 0.25.

4.7.2.6 Distribución exponencial negativa desplazada

Rara vez se han observado intervalos de seguimiento (en un mismo carril) menores de 0.5 s, por lo que este valor se puede considerar en la práctica como el límite inferior de este intervalo. Sin embargo, la Ecuación 4.17, con un volumen q de 720 veh/h, estima un valor de 0.9 para la probabilidad de ocurrencia de intervalos o iguales o mayores a 0.5 s, cuando esta probabilidad debía casi 1.00. Eso quiere decir que la distribución exponencial negativa sobrestima la ocurrencia de intervalos menores de 0.5 s y en general la de todos los intervalos mínimos de seguimiento.

Para corregir esta deficiencia de la distribución exponencial negativa en corrientes de una fila, se ha ideado la *distribución exponencial negativa desplazada*. Esta distribución se basa en la misma función representada por la Ecuación 4.17 ó 4.18, pero con la diferencia de que las variables temporales de la 4.18 se miden desde un punto desplazado d unidades temporales hacia adelante, así como la media de los intervalos. La Ecuación 4.18 se puede transformar para representar la distribución desplazada restando el valor del desplazamiento d a las variables temporales t e \bar{t} . La función resultante es discontinua pues su valor es 0 para intervalos iguales o menores que d , mientras que para intervalos mayores que d produce probabilidades cercanas a la distribución exponencial negativa. Las ecuaciones que definen la distribución exponencial negativa desplazada son las siguientes

$$P(t \leq t) = 0 \quad \text{Para } t \leq d \quad (4.20)$$

$$P(t \geq t) = e^{-\frac{t-d}{3600/q-d}} \quad \text{Para } t > d \quad (4.21)$$

La Ecuación 4.21 se puede expresar en función del volumen de tránsito q en la forma siguiente.

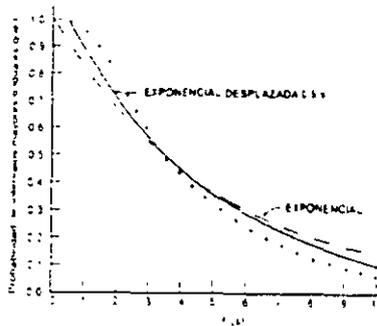
$$P(t \geq t) = e^{-\frac{t-d}{3600/q-d}} \quad (4.22)$$

4.7.2.7 Ejemplo

Por un carril de autopista circulan 720 veh/h. Calcular y representar por medio de gráficos la distribución de intervalos utilizando respectivamente la distribución exponencial y la exponencial desplazada 0.5 segundos. Dibujar también en los gráficos la distribución de los intervalos medidos en la autopista empleando valores dados

Fuente de los datos reales: May (1965, p. 115)

4.9 Distribuciones exponenciales negativas de intervalos comparadas con la



distribución real equivalente (línea de puntos) observada en una autopista

Aplicando las Ecuaciones 4.17 y 4.22 se obtiene el gráfico que se muestra en la Figura 4.9

Ambas distribuciones subestiman la ocurrencia de intervalos mayores o iguales que los intervalos cortos mientras que sobrestiman la de los intervalos largos. La distribución desplazada se apega algo más a lo real, pero ninguna de las distribuciones teóricas difiere mucho de la distribución real. Esto se justifica porque a un volumen de 720 v/h por carril la interacción vehicular en autopista no es muy intensa y muchas llegadas de vehículos tienden a ser aleatorias.

La razón de escoger un desplazamiento de 0.5 s es que como los intervalos menores de ese valor son muy raros, no se pierde mucho si se ignoran. Si el desplazamiento se aumenta a 1.0 s la diferencia entre las distribuciones teórica y real disminuye notablemente a partir del intervalo de 1.5 s, pero se ignoran los intervalos entre 0.5 y 1.0 s que sí son significativos, especialmente cuando los volúmenes son altos.

Cuando los volúmenes por carril son mayores de 1 000 veh/h hay otras distribuciones teóricas que se aproximan más a los datos reales (Véase May

distribuciones teóricas que se aproximan más a los datos reales (Véase May (1990, Capítulo 2)). No obstante, se ha observado correspondencia bastante aceptable entre los resultados de la distribución negativa desplazada 0.5 s y volúmenes superiores a 2 000 veh/h por carril de autopista (Radelat, trabajo no publicado).

4.8 Modelos analíticos macroscópicos

4.8.1 Los regímenes de flujo en corrientes vehiculares continuas

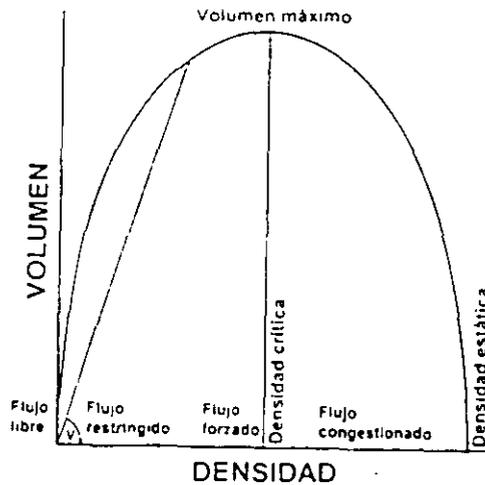
Como se ha visto, la llamada ecuación fundamental del tránsito relaciona *aproximadamente* los valores de los parámetros macroscópicos de las corrientes vehiculares en la siguiente forma:

$$\text{volumen} = \text{velocidad} \cdot \text{densidad}$$

donde la velocidad es la media espacial y la densidad la media aritmética o ponderada, ambas durante el tiempo en que se ha medido el volumen. Es evidente que distintas combinaciones de la velocidad y la densidad pueden producir el mismo volumen, y así sucede que por un punto de una vía puede pasar igual número de vehículos, lentamente y en fila apretada, que rápidamente y en fila abierta.

Ahora bien, existe otra relación entre el volumen, la densidad y la velocidad debido a la *interacción vehicular*. Si todos los vehículos circularan a la misma velocidad no habría tal interacción en una corriente vehicular continua, pero todos los conductores no quieren ir a igual velocidad ni los vehículos pueden. Si hubiera siempre oportunidades para adelantar y todos los vehículos pudieran ir a flujo libre no habría apenas interacciones retardantes entre ellos, pero como obviamente esto no sucede casi nunca, los vehículos más lentos pueden demorar a los más rápidos sin que los últimos puedan apurar a los primeros. Esto quiere decir que cuando hay interacción retardante, la velocidad media de la corriente es menor que cuando no la hay. Conforme aumenta la disparidad entre las velocidades de los vehículos y disminuyen las oportunidades de adelanto crecerá la interacción vehicular y se reducirá la velocidad media de la corriente.

La Figura 4.10 muestra una representación generalizada sobre cómo puede afectar la interacción vehicular a la velocidad media de una corriente vehicular continua según varían el volumen, la densidad de la corriente y la propia velocidad media. La forma real de la curva mostrada es mucho más achatada, pero depende de las condiciones de vía y tránsito del tramo de vía representado, las que varían de un tramo a otro y aún en un mismo tramo de un momento a otro. Las coordenadas de un punto cualquiera de la curva son la densidad (abscisa) y el volumen correspondiente (ordenada) para una situación dada en un tramo particular de vía. La velocidad media en esa situación está representada por la tangente del ángulo V , que forma con el eje de las abscisas la línea que une al punto considerado con el centro de coordenadas. Esa tangente es el cociente entre el valor del volumen y el de la densidad para el punto dado. El valor máximo de esa tangente debe representar la velocidad a flujo libre



Fuente: Radelat, Guido, "Manual de ingeniería de tráfico", obra en preparación

4.10 Curva generalizada densidad-volumen

Cuando un vehículo está solo o casi solo en la vía su conductor puede circular a la velocidad a flujo libre, pero a medida que crece la demanda de tránsito se insertarán más vehículos en la corriente vehicular y aumentará la densidad de esa corriente. Entonces el conductor tardará menos en alcanzar un vehículo que vaya a menor velocidad de la que quiere ir ese conductor. Si no puede adelantar ese vehículo inmediatamente por falta de brecha adecuada o visibilidad, disminuirá su velocidad de recorrido. Cuando eso sucede con muchos vehículos, se reduce la velocidad media de la corriente. Sin embargo, si la densidad aumenta con mayor rapidez de lo que disminuye la velocidad, se elevará el volumen. Esa elevación de volumen, al reducir el tamaño de las brechas necesarias para adelantar, contribuirá a aminorar aún más la velocidad hasta un punto en que la reducción en velocidad equilibra al incremento en densidad y el volumen no aumenta más, esto es, alcanza el valor *máximo* que permiten las condiciones de vía y tránsito. A los valores de la densidad y velocidad en este punto se denomina *densidad crítica* y *velocidad crítica* respectivamente.

Si el valor de la demanda de tránsito excede en algunos momentos el volumen máximo, no todos los vehículos que llegan podrán seguir adelante y algunos tendrán que detenerse, lo que hace aumentar la densidad en el tramo, así como disminuir la velocidad y el volumen que puede circular. Este es el principio de la *congestión*. Si la demanda no disminuye, esta situación se irá agravando hasta que se alcance *congestión completa*, cuando tanto el volumen como la velocidad son cero, los vehículos se detienen en una imponente cola y la densidad alcanza un valor máximo al que llamamos *densidad estática*. La Figura 4.10 muestra que para cada valor del volumen inferior al máximo existen dos valores para la densidad y la velocidad.

En todo este proceso la corriente vehicular ha pasado por los diversos regímenes que se definen a continuación:

Flujo libre, cuando prácticamente todos los vehículos circulan libremente. Aunque la Figura 4.10 indicaría que este régimen está limitado a las cercanías del origen de

coordinadas, lo cierto es que en la realidad la interacción vehicular no restringe apreciablemente la velocidad de los vehículos hasta que la densidad y el volumen hayan alcanzado valores substanciales, especialmente en autopistas. En esas vías la velocidad media permanece prácticamente invariable hasta que el volumen se encuentra muy próximo a su valor máximo

Flujo restringido, es el que ocurre si la interacción vehicular restringe la velocidad de la mayoría de los vehículos, aunque pocos vehículos forman pelotones.

Flujo forzado, es cuando la inmensa mayoría de los vehículos van en pelotones, es decir, siguiéndose unos a otros. La velocidad de los vehículos se hace irregular y disminuye mucho, pero generalmente éstos no llegan a detenerse. En carreteras de dos carriles esto sucede a densidades y volúmenes mucho más bajos que en autopistas.

Flujo congestionado Aquí el volumen de tránsito que llega al tramo considerado excede con frecuencia el volumen máximo que permiten las condiciones de vía y tránsito con las consecuencias que se han descrito. En el tramo considerado ocurren *colapsos* que rompen la continuidad de la circulación y ésta se hace intermitente debido a turbulencia que se origina. Si el exceso de demanda dura mucho, el fenómeno es más complejo, y suele rebasar los límites del tramo al formarse colas que crecen corriente arriba y se disipan corriente abajo

4.8.2 El modelo de Greenshields

A fin de cuantificar los parámetros de las corrientes vehiculares durante las situaciones descritas se han elaborado numerosos modelos analíticos y de simulación. Uno de los primeros modelos analíticos macroscópicos que se han creado para ello es el de Greenshields (1934, p 448-477)

El modelo nació de los análisis que realizó Greenshields a medidas de volúmenes y velocidades medias que hizo en carreteras de dos carriles. Las densidades correspondientes las estimó usando la ecuación fundamental del tránsito, y llegó a la conclusión que la relación entre la densidad y la velocidad media era prácticamente *lineal*. Definió esa relación por la siguiente ecuación lineal.

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_e} \right) \tag{4.23}$$

Donde: v = velocidad
 v_f = velocidad a flujo libre
 k = densidad
 k_e = densidad estática (cuando la velocidad es cero)

Luego, Greenshields utilizó de nuevo la ecuación fundamental del tránsito:

$$q = kv \tag{4.24}$$

donde : q = volumen

y la Ecuación 4.23 para obtener la relación entre la densidad y el volumen:

$$q = v_f \left(k - \frac{k^2}{k_e} \right) \tag{4.25}$$

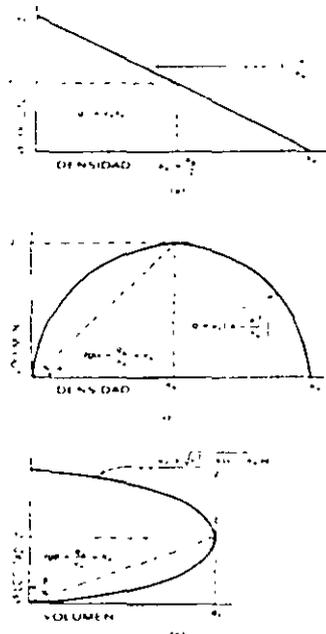
Por último, combinando las Ecuaciones 4.23 y 4.25 Greenshields derivó la relación entre el volumen y la velocidad:

$$v = \frac{v_f \pm \sqrt{v_f^2 - 4(v_f / k_e)q}}{2} \tag{4.26}$$

Las curvas que equivalen gráficamente a estas ecuaciones se muestran en la Figura 4.11.

La curva densidad-volumen, (a) es, naturalmente una línea recta. Las curvas densidad-velocidad, (b) y volumen-velocidad, (c), son parábolas, de modo que, de acuerdo a las propiedades de las parábolas, en la primera de ellas, la densidad a la que el volumen es máximo (densidad crítica), k_c , es la mitad de la densidad estática. En forma similar, en la curva volumen-velocidad, (c), la velocidad que corresponde al volumen máximo (velocidad crítica), v_c , es la mitad de la velocidad a flujo libre.

Fuente Radclat Guido, "Manual de ingeniería de tráfico", obra en preparación 4 11 Figura



4 11 Representación de las ecuaciones del modelo de Greenshields

En la Figura 4 11 (a) el volumen correspondiente a cualquier punto de la recta está representado por el área del rectángulo que resulta de trazar perpendiculares desde ese

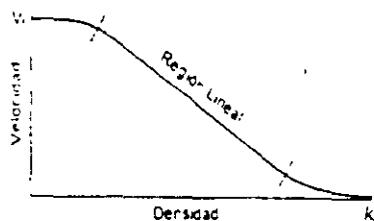
punto a cada eje de coordenadas, pues sus lados son respectivamente la velocidad y la densidad. En el caso indicado en la figura coinciden la densidad y velocidad críticas y el volumen máximo; y se puede demostrar por geometría que el área del rectángulo mostrado es la máxima de todos los rectángulos que se pueden dibujar en esa forma.

La velocidad en cualquier punto de la curva de la Figura 4.11 (b), se puede estimar hallando la tangente del ángulo α , que forma con el eje de las abscisas la recta que va del punto considerado al centro de coordenadas, pues esa tangente está dada por la relación entre el volumen y la densidad. La figura muestra el caso crítico.

Por último, la Figura 4.11 (c) expresa la densidad mediante la tangente del ángulo β , formado por el eje de las ordenadas y la recta que va del punto considerado al centro de coordenadas. Esa tangente es numéricamente igual a la relación volumen/velocidad.

En el gráfico (a) de la Figura 4.11 para cada valor de la densidad hay un solo valor de la velocidad. Sin embargo en los gráficos (b) y (c), salvo cuando el volumen es máximo, para cada valor del volumen existen dos valores de la densidad y de la velocidad. Lo que sucede es que antes de que se alcance el volumen crítico ocurren los regímenes de flujo libre, restringido y forzado donde el tránsito fluye sin interrupciones y a un aumento de densidad corresponde un aumento de volumen. En cambio, si la demanda alcanza mayores valores que el volumen máximo posible, las circunstancias son distintas pues se entra en el régimen de flujo congestionado donde un aumento de densidad significa una disminución del volumen. Ese flujo congestionado es lo que representan las segundas ramas de las curvas (b) y (c). Debido a las propiedades de las parábolas, cuando la densidad se aparta lo mismo de la densidad crítica (por defecto o por exceso), el modelo produce el mismo volumen con distintas velocidades, en el primer caso vehículos más espaciados con mayor velocidad, y en el segundo vehículos menos espaciados a menor velocidad. Algo similar, pero no exactamente igual, se ha observado en el mundo real.

La velocidad a flujo libre, v_f , es relativamente fácil de estimar, pues basta con medir la de los vehículos que circulan libremente (que no suelen ser raros) y obtener su promedio. La densidad estática, k_c , es la de las colas de vehículos, que están detenidos por distintos motivos (esperando la indicación verde del semáforo, cuando hay congestión completa, etc.), y es más difícil de conocer en vías de circulación continua donde no hay semáforos. Se ha observado en Bogotá una densidad estática de alrededor de 140 v/km/carril, lo que supone que cada vehículo ocupe un espacio medio de unos 7.0 m de carril.



Fuente Huber, 1992 P. 449

4.12 Relación entre la velocidad y la densidad.

Observaciones posteriores en el terreno (Huber, 1982, p. 449) han indicado que la relación entre la densidad y la velocidad no es lineal sino una curva de la forma que se

presenta en la Figura 4.12. La forma de esta curva parece lógica pues arranca con una pendiente horizontal, lo que es de esperar, pues cuando hay dos o tres vehículos por kilómetro el efecto de la densidad es prácticamente nula. Esto lo reconoció el propio Greenshields (1934, p 468) en su trabajo original.

Al final, la velocidad disminuye muy suavemente hasta llegar a cero, lo que se explica porque en esa región la mayor parte de los vehículos están en pelotones (flujo forzado) y pequeñas reducciones en la velocidad pueden causar rápidamente congestión que inmovilice la corriente vehicular. Como la forma de las demás curvas dependen de la de la curva densidad-velocidad, las deficiencias de ésta se reproducen en aquéllas.

Por esta razón el modelo de Greenshields produce grandes errores, especialmente a densidades altas

A pesar de que existen otros modelos más elaborados, el modelo de Greenshields representó un verdadero descubrimiento en su época y ha resistido los embates del tiempo debido a su sencillez. Su valor es la facilidad con que ayuda a comprender las formas de las relaciones entre los parámetros macroscópicos del tránsito.

4.8.3 Otros modelos analíticos macroscópicos populares

Investigadores del Puerto de Nueva York (Greenberg, 1959, p.79-85), usando una analogía entre la corriente vehicular y un fluido compresible, elaboraron otro modelo analítico macroscópico del tránsito. Este modelo relaciona la velocidad y la densidad mediante un parámetro especial que es igual a la velocidad crítica, es decir, la que se desarrolla cuando el volumen es máximo. Se llama *Modelo de Greenberg*, y se expresa así:

$$v = v_c \cdot \ln\left(\frac{k_e}{k}\right) \quad (4.27)$$

donde: v = velocidad
 v_c = velocidad crítica (cuando el volumen es máximo)
 \ln = logaritmo natural
 k = densidad
 k_e = densidad estática (cuando la velocidad es cero)

Underwood (1975, p 141-187) creó un modelo exponencial destinado a producir valores aceptables de la velocidad a bajas densidades. La ecuación que relaciona estos parámetros es la siguiente:

$$v = v_f e^{-k/k_c} \quad (4.28)$$

donde: v_f = velocidad a flujo libre
 k_c = densidad crítica (cuando el volumen es máximo)
 e = base de los logaritmos neperianos
Los demás símbolos están definidos arriba

Aplicando la ecuación fundamental del tránsito a las Ecuaciones 4.27 y 4.28 ($q = v \times k$) se obtienen las ecuaciones de los modelos de Greenberg y Underwood que relacionan el volumen con la densidad y con la velocidad.

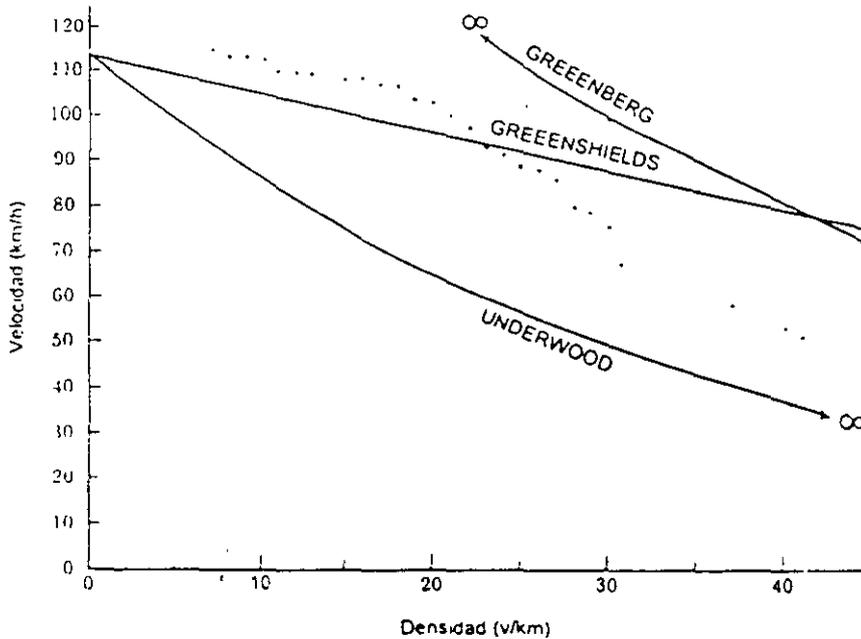
4.8.4 Realismo de los modelos

En una autopista de seis carriles del estado norteamericano de Texas, donde la demanda de tránsito se aproximaba a la capacidad, se tomaron datos sobre volúmenes y velocidades en el año de 1991. Los datos se registraron en periodos de 5 minutos para los que se calcularon la media espacial de las velocidades observadas. Los volúmenes observados en los periodos se dividieron entre las velocidades medias correspondientes para estimar las densidades medias en las inmediaciones del punto de observación. Los datos tomados fueron analizados por Merritt (1992, p. 3-7, Tablas 1 y 4).

En el carril de mayor velocidad se observó un volumen de 2 390 veh/h que se consideró máximo y una velocidad (crítica) a ese volumen de 68 km/h. La densidad correspondiente fue de $2\,390 / 68 = 35.1 \approx 35$ veh/km. La velocidad a flujo libre fue de 115 km/h. No se pudo observar la densidad estática porque no hubo colas, y hubiera sido erróneo inferirla por regresión porque la densidad mayor observada fue de 41 veh/km. Sin embargo, teniendo en cuenta las clases de vehículos observados, la composición vehicular y el tipo de conductor (habitual) se estimó que la densidad estática sería de unos 130 veh/km.

Con estos datos se estimaron las velocidades para densidades de 0 a 50 veh/km en múltiplos de 5 km/h utilizando respectivamente los modelos de Greenshields, Greenberg y Underwood.

Aplicando $v_f = 115$, $v_c = 68$, $k_e = 130$ y $k_c = 35$ respectivamente a las ecuaciones 3.23, 3.27 y 3.28, así como los valores escogidos para las densidades k , se obtuvieron las velocidades correspondientes a las densidades indicadas. Entonces se dibujaron en la Figura 4.13 curvas densidad-velocidad estimadas con cada uno de los modelos utilizados, así como puntos que indican las relaciones equivalentes observadas en el terreno.



Fuente: Radelat Guido, "Manual de ingeniería de tráfico", obra en preparación

4.13 Comparación de velocidades estimadas respectivamente por los modelos de Greenshields, Greenberg y Underwood con datos reales (puntos)

Analizando la Figura 4.13 se puede apreciar que, para las mismas condiciones reales, cada modelo produce velocidades muy diferentes que se apegan poco a los puntos que representan observaciones en la realidad. Las velocidades estimadas por el modelo de Greenshields van más o menos paralelas a los puntos y no muy lejos de ellos hasta una densidad de unos 20 veh/km y luego se apartan rápidamente. Las velocidades de Greenberg corren sensiblemente paralelas a los puntos, pero más separadas de éstos, hasta la densidad de unos 20 veh/km y luego se disparan hacia arriba rumbo al infinito. Las velocidades de Underwood pasan por debajo de los puntos, también casi paralelas a ellas y se encaminan hacia la densidad infinita según se van acercando al eje de las abscisas. No hay datos de la realidad para densidades inferiores a 10 veh/km ni superiores a 41 veh/km. Los datos del terreno se asemejan de lejos a la curva de la Figura 4.12.

Naturalmente, no se puede juzgar el realismo de esos modelos por su aplicación a un caso aislado, pero los resultados no son muy prometedores.

4.9 Ondas de cambio y filas de espera

4.9.1 Principios de las ondas de cambio

Llamamos *punto de cambio* a un punto en una calzada o carril donde se produce una discontinuidad en los valores de los parámetros de la corriente vehicular que circula por allí. El punto es fijo con respecto a la vía, y la corriente pasa por él.

Los cambios que tienen lugar en esos puntos pueden ser *permanentes*, *periódicos* o *accidentales*. Al primer tipo corresponden una disminución o aumento del número de carriles de una calzada, un cambio pronunciado de pendiente, el comienzo o fin de una zona urbanizada y otros cambios en las características de la vía o su entorno. En el segundo tipo se encuentran los cambios en la circulación inducidos por los medios para regular el tránsito y en el tercero la influencia física o psicológica de accidentes e incidentes.

Una *onda de cambio* representa la propagación, a través del tiempo y el espacio, de una discontinuidad en los valores de los parámetros que definen una corriente vehicular. Esa onda se propaga siempre a lo largo de la corriente vehicular y puede desplazarse por la vía. Por la corriente siempre va *corriente arriba*, pero puede ir *avanzando* o *retrocediendo* por la vía, o bien *estar fija* en ella.

Los puntos de cambio pueden dar lugar a ondas de cambio o no. Puede haber, sin embargo, ondas de cambio aunque no existan puntos de cambio en la vía.

El parámetro que caracteriza mejor las discontinuidades que propaga la onda de cambio es la *densidad*, pues es muy raro que la densidad no cambie si se alteran las características de una corriente vehicular. Por esta razón utilizamos la densidad para clasificar las ondas de cambio y así llamamos *ondas densificantes*, a las que delimitan un aumento en la densidad del tránsito, y *ondas disipantes* a las que demarcan una disminución de densidad.

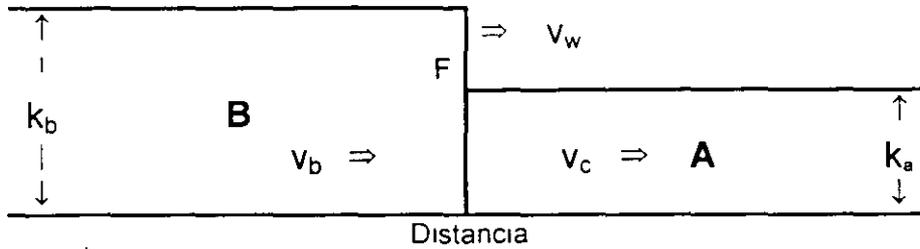
4.9.2 Casos específicos de ondas de cambio

A fin de que el mecanismo de las ondas de cambio se comprenda mejor, en los casos que se presentan a continuación se ha simplificado mucho la realidad suponiendo que las corrientes vehiculares están integradas por vehículos idénticos cuyos conductores tienen igual comportamiento.

4.9.2.1 Aumento de demanda sin congestión

En la Figura 4.14 se presenta de una corriente vehicular cuya porción A ha sido originada por una demanda de tránsito moderada y circula a una velocidad media espacial, v_a , relativamente alta y a una densidad k_a , relativamente baja. En cierto momento aumenta súbitamente la demanda de tránsito, lo que hace disminuir la velocidad media a $v_b < v_a$ y aumentar la densidad a $k_b > k_a$ en una porción de la corriente vehicular, B, corriente arriba.

Aunque ha aumentado el volumen no se crea congestión, pero los conductores de B prefieren ir, por lo menos, a la velocidad v_a . La porción A, como va a mayor velocidad, se empieza a separar de la B, dejando un claro entre ellas, pero los vehículos que van al frente de la B, al tener menores restricciones, pueden aumentar su velocidad y se incorporan a la porción A, continuando a la misma velocidad y densidad de A. Después, los que van inmediatamente detrás de ellos hacen lo mismo y se genera una onda de vehículos que van cambiando de las condiciones B a las condiciones A. La posición de esa onda de cambio en un momento dado está representada en la Figura 4.14 por la línea vertical F, que constituye la interfaz entre las dos porciones de la corriente vehicular. Las circunstancias de este caso y la exposición que sigue se basa en un trabajo de Pipes (Gerlough y Capelle, 1964, p. 3, 4).



Fuente: Radelat, Guido, "Manual de ingeniería de tráfico", obra en preparación

4.14 Onda de cambio disipante que se desplaza corriente arriba y avanza por la vía

Lógicamente, la onda de cambio va a una velocidad media, v_w , que es mayor que v_b , por lo que avanza por la vía, pero menor que v_a , por lo que se desplaza corriente arriba. Si se desea determinar matemáticamente esa velocidad, v_w , se puede proceder de la siguiente forma.

Las velocidades medias de la corriente en las porciones A y B, con respecto a la velocidad, v_w , de la onda son respectivamente $V_a = v_a - v_w$ y $V_b = v_b - v_w$. En un tiempo t , el número de vehículos, N , que cruza la interfaz F y sale de B será $V_b \times k_b \times t$ (distancia/tiempo \times vehículos/distancia \times tiempo = vehículos). Del mismo modo, los vehículos que cruzan la interfaz y penetran en A durante t serán $V_a \times k_a \times t$. Como, evidentemente, se trata de los mismos vehículos, se tiene:

$$N = V_b k_b t = V_a k_a t$$

o sea

$$(v_b - v_w) k_b = (v_a - v_w) k_a \quad (4.29)$$

Los volúmenes de tránsito en las porciones A y B son respectivamente q_a y q_b . En virtud de la ecuación fundamental del tránsito (suponiéndola exacta):

$$q_a = k_a v_a \text{ y } q_b = k_b v_b$$

Sustituyendo en la Ecuación 4.29 y simplificando

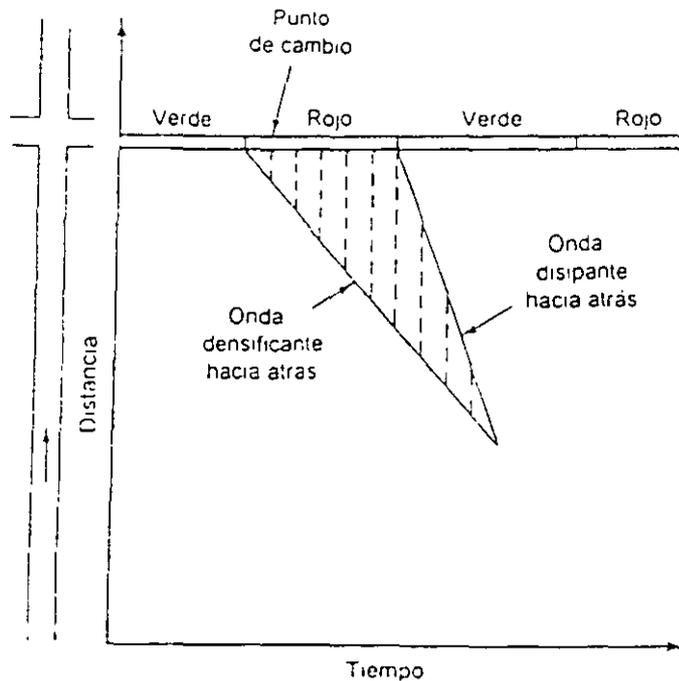
$$v_w = \frac{q_b - q_a}{k_b - k_a} = \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (4.30)$$

Por lo tanto, la velocidad media de la onda de cambio se puede estimar como el cambio en volumen, Δq , dividido entre el cambio en densidad, Δk . Tanto el cambio de volumen como el de densidad son positivos, lo que quiere decir que la onda va a avanzar por la vía.

4.9.2.2 Acción de un semáforo

La Figura 4.15 representa un acceso de un solo carril a una intersección semaforizada. Los vehículos llegan a intervalos iguales, por lo que la demanda de tránsito es constante. El semáforo, que es de intervalos fijos, actúa como un punto de cambio al exhibir su

indicación roja y luego al cambiarla a verde. La corriente vehicular que se aproxima al semáforo tiene una densidad correspondiente al flujo libre o restringido, pero al comenzar la fase roja los vehículos se detienen y van formando una cola de *densidad estática*. En otras palabras, se origina una onda *densificante* que va cambiando la densidad de la corriente vehicular a densidad estática. La onda se desplaza *corriente arriba* y *retrocede* con respecto a la vía. En esta fase el semáforo actúa como punto de cambio delantero



Fuente May, 1990 p 208

4.15 Ondas de cambio que ocurren en el acceso a una intersección semaforizada

Cuando comienza la fase verde la cola empieza a ponerse en movimiento transformándose en una corriente vehicular con densidad inferior a la estática y se genera una onda de cambio *disipante* que también corre *corriente arriba* y *retrocede* por la vía. Como se siguen incorporando vehículos a la cola por detrás cuando los vehículos delanteros ya están en movimiento, durante cierto tiempo va a haber una onda densificante y otra disipante propagándose en el mismo sentido, pero como la onda disipante retrocede a mayor velocidad, alcanza a la otra onda y acaba por disipar toda la cola. Este caso ha sido tomado de problemas descritos por May (1990, p. 208).

4.9.3 Principios de la teoría de filas de espera

4.9.3.1 Introducción

La llamada "teoría de colas" o de "filas de espera" trata matemáticamente los problemas que existen en distintos sistemas cuando hay ciertas unidades que van llegando a un lugar para recibir un servicio determinado y puede suceder que el tiempo que tarde el servicio sea mayor que el intervalo de llegada entre las unidades, por lo que algunas de éstas deben *esperar* un tiempo adicional para recibir el servicio y forman una *fila de espera* real o figurada. En ingeniería de tránsito se ha usado esa teoría para analizar las situaciones en que, por no satisfacerse a tiempo la demanda de tránsito, se forman colas permanentes de vehículos, colas intermitentes, pelotones de alta densidad o combinaciones de todo eso. Esas situaciones ocurren en accesos a intersecciones semaforizadas o a casetas de cobro de peaje, en lugares y momentos en que el tránsito se congestiona (demanda superior a oferta) y, en general, en muchos casos en que los conductores se ven obligados a detener sus vehículos o a reducir su velocidad por cualquier motivo. En todas esas coyunturas se causan *demoras* a los usuarios de la vía.

Como se ha visto, las situaciones mencionadas se pueden analizar observando las *ondas de cambio* que se producen y su propagación, especialmente cuando interesa conocer la interacción de las distintas ondas y el espacio donde se desarrollan, y los procesos son *deterministas*. Eso quiere decir que los valores de las variables que determinan la demanda de servicio y el tiempo para satisfacerla son *fijos*. Cuando es preciso hacer un análisis con elementos *probabilistas* (que requiere el uso de variables *aleatorias*) hay que recurrir a la teoría de filas de espera. Infortunadamente, aquí sólo se puede tratar sobre esa teoría en forma muy superficial.

4.9.3.2 Características y parámetros

Las características principales y los parámetros que determinan el funcionamiento de un sistema donde se forman filas de espera son las siguientes:

- *Características de las llegadas.* Éstas comprenden (a) la tasa media de llegadas, λ , que es el número promedio de unidades que llegan en la unidad de tiempo, o su inverso $1/\lambda$, el *intervalo medio* entre las unidades y (b) la distribución de esas llegadas o su inverso que puede ser *determinista* (tal como llegadas a intervalos fijos) o *probabilística* (tal como las que obedecen a distribuciones estadísticas con características aleatorias como la de Poisson y la exponencial negativa). A veces las llegadas se identifican como *demanda* o *entradas* al sistema.
- *Características del servicio.* Las principales son: (a) la tasa media de servicio, μ , que es el número medio de unidades que reciben servicio en la unidad de tiempo, o su inverso, $1/\mu$, el *tiempo medio de servicio*, (b) la distribución de ese número, o de su inverso, que puede ser determinista o probabilista, y (c) el número de unidades que es posible servir simultáneamente o número de *canales* o *estaciones de servicio*.
- *Disciplina de la fila* o forma en que se escoge la unidad siguiente para ser servida. Como explica Huber (1982, p. 461), la más común entre gente civilizada es *sale primero el primero que llega*, como suele suceder en acceso a semáforos o ramales de entrada a autopistas. También se observa que *sale primero el último que llega*, entre gente no muy civilizada, cuando se forma una cola detrás de una obstrucción de un

carril. El último de la cola tiene acceso antes que los demás a la primera brecha aceptable para cambiar de carril, y la ocupa tranquilamente.

4.9.3.3 *Comportamiento de las filas de espera*

La relación entre la tasa media de llegadas y la de servicio, λ/μ , se acostumbra a representar por ρ y se ha denominado *factor de utilización*. Ese factor determina, en general, el comportamiento de un sistema de filas de espera. Si $\rho < 1$, esto es, $\lambda < \mu$, el sistema tendrá estabilidad. Si por el contrario $\rho > 1$ y $\lambda > \mu$, las filas crecerán indefinidamente y si se trata de un sistema de elementos de tránsito podemos decir que habrá *congestión* en el sistema. Por lo tanto, los análisis de filas de espera habitualmente se limitan al caso estable.

4.9.3.4 *Acceso a una intersección semaforizada*

Este caso (que es el único que se describe) se basa en ejemplos presentados por Huber (1982, p. 465) y May (1990, p. 340-344). El caso es bien conocido y no resulta demasiado complicado, pero a fin de que sea aún más sencillo y se entienda bien, se simplifica la realidad (y adultera) en la forma siguiente

- El acceso consta de un solo carril y todo el tránsito que circula por él sigue de frente
- Todos los conductores se comportan en la misma forma y los vehículos son automóviles idénticos
- La tasa de llegadas, λ , en veh/h es siempre la misma.
- El semáforo sólo tiene dos fases fijas, una verde de g segundos y otra roja de r segundos. No hay intervalos amarillos ni todo-rojos; por consiguiente, la duración del ciclo, C , es igual a $g + r$. La tasa media de entrada a la intersección en fase verde es igual al *flujo de saturación*. (Se llama *flujo de saturación* al máximo volumen de tránsito que pudiera entrar en una intersección semaforizada, por un acceso, carril o carriles del mismo, si el semáforo exhibiese siempre su indicación verde.)
- La tasa de servicio (o de salidas en este caso), en veh/h, adopta tres valores constantes: (a) cero en la fase roja del semáforo, (b) un valor igual al *flujo de saturación* para las condiciones supuestas, al que llamaremos μ , cuando el semáforo está en verde y aún existe una fila de espera (cola en este caso); y (c) la tasa de llegadas, λ , cuando la indicación es verde y no hay cola. Como μ es el valor crítico de la tasa de servicio, llamaremos *factor de utilización* a la relación λ/μ y la denominaremos ρ .
- La tasa de llegadas, λ , es menor que el valor, μ , de la tasa media de salidas o flujo de saturación. Por lo tanto, los vehículos salen a una tasa mayor cuando parten de una cola que cuando llegan libremente al semáforo en verde.
- El número máximo de vehículos que puede llegar en un ciclo, $\lambda \times C$, es siempre menor que el máximo que puede salir, $\mu \cdot g$, que es número de vehículos que parten de una cola durante todo el intervalo verde. A ese número máximo que puede salir lo

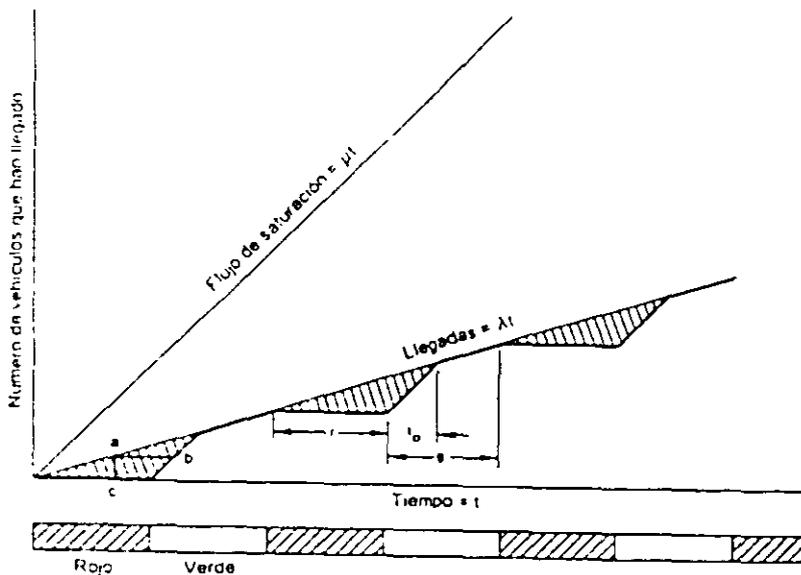
llamaremos *capacidad del acceso*, la que jamás será excedida y no habrá congestión. De lo anterior se deduce que $\lambda < (g/C) \cdot \mu$ y $\rho < (g/C) < 1.00$.

- La disciplina de la cola es, naturalmente, "sale primero el primero que llega", ya que no hay adelantos porque no hay por donde adelantar ni nadie quiere hacerlo.

La Figura 4.16 muestra gráficamente las colas que se forman en el acceso a la intersección semaforizada. El eje de las abscisas es la escala del tiempo, t , y debajo de él se indican las fases del semáforo. El eje de las ordenadas es la escala del número de vehículos que ha llegado, λt , hasta un momento t . La línea recta inclinada inferior representa la acumulación de llegadas y su pendiente, la tasa de llegadas, λ . Debajo de ella, la línea quebrada gruesa representa la acumulación de salidas y coincide con la de las llegadas en la fase verde después que se ha dissipado la cola. La pendiente de la línea recta inclinada superior representa (pero no indica) el flujo de saturación, μ .

Dentro de cada ciclo del semáforo hay un triángulo cuyo lado superior lo forma la línea de acumulación de llegadas, su base el segmento de la línea de acumulación de salidas cuando no hay acumulación, y su otro lado, el segmento de esa línea correspondiente a las salidas a flujo de saturación. En cualquiera de esos triángulos, la distancia horizontal a-b representa el tiempo que media entre la llegada y la salida de un vehículo; y la distancia vertical a-c el número de vehículos detenidos en ese momento desde el comienzo de la fase roja.

Fuente Huber 1982 p 465



4.16 Representación de colas en el acceso a una intersección semaforizada

Analizando el triángulo de colas se pueden evaluar los siguientes parámetros que caracterizan este fenómeno de fila de espera.

- Demora (segundos) en disiparse la cola después del fin de la fase roja (t_0)

Como la tasa de llegadas es menor que la capacidad del acceso, al fin de la fase verde no hay cola alguna. En cualquier ciclo, la cola empieza a formarse durante la fase roja, y al terminarse esa fase empieza la disipación de la cola, aun cuando pueden seguir incorporándose vehículos a ella. Al transcurrir un tiempo t_0 , después del fin de la fase roja, termina la disipación de la cola y en ese momento el número de vehículos que salió en ese ciclo es igual al número que entró. Por lo tanto:

$$\lambda(r + t_0) = \mu t_0$$

Si $\rho = \lambda/\mu$, entonces

$$t_0 = \frac{\rho r}{1 - \rho} \tag{4.31}$$

- Máximo número de vehículos en cola (Q_m)

Observando un triángulo de colas puede apreciarse que el máximo número de vehículos en cola está representado por la altura del triángulo, r unidades después del comienzo de la roja. Por consiguiente, después de realizar la conversión de unidades se tiene:

$$Q_m = \frac{\lambda r}{3.600} \tag{4.32}$$

- Número promedio de vehículos en cola durante todo el ciclo (\bar{Q})

Para hallar ese promedio se toman las colas medias durante los periodos de tiempo r , t_0 y $(g - t_0)$, se ponderan usando las duraciones de los periodos respectivos y se calcula la media ponderada de todos ellos. Al convertir las unidades, su valor es:

$$\bar{Q} = \frac{(\lambda r / 2) r + (\lambda r / 2) t_0 + 0(g - t_0)}{3600(r + t_0 + g - t_0)} = \frac{\lambda r (r + t_0)}{7200 C} \tag{4.33}$$

- Tiempo de detención total en vehículos - segundos (TDT)

Este tiempo está dado por el área del triángulo de colas cuya base es r y su altura μt_0 . Realizando la conversión de unidades se obtiene la siguiente expresión:

$$TDT = \frac{r \cdot \mu t_0}{7.200} \tag{4.34}$$

- *Tiempo de detención medio en segundos por vehículo (\bar{d}).*

Se obtiene dividiendo el tiempo de detención total, DT entre el número de vehículos que llegan durante un ciclo ($\lambda \cdot C / 3600$) Ver siguiente expresión:

$$\bar{d} = \frac{r \cdot \mu \cdot t_0 / 7200}{\lambda \cdot C / 3600} = \frac{r t_0}{2 \rho C} \quad (4.35)$$

- *Tiempo de detención máximo en segundos (d_m)*

Observando un triángulo de colas puede deducirse que el valor máximo de la distancia horizontal a-b es la que corresponde a la base del triángulo, esto es, a la duración de la fase roja r . Por lo tanto.

$$d_m = r \quad (4.36)$$

4.9.3.5 Ejemplo

Supóngase que para conocer a grandes rasgos el mecanismo de las colas en un acceso de un carril a una intersección semaforizada se ha simplificado la realidad en la forma expuesta anteriormente. Los datos simplificados son los siguientes:

- Tasa media de llegada, $\lambda = 540$ veh/h
- Flujo de saturación, $\mu = 1800$ veh/h
- Factor de utilización, $\rho = \lambda / \mu = 0.3$
- Duración del ciclo, $C = 90$ s
- Duración de la fase roja, $r = 42$ s
- Duración de la fase verde, $g = 48$ s

También desea conocer el ingeniero de tránsito si hay peligro de que las colas que causa el semáforo pudieran obstruir una intersección que se encuentra a 100 m corriente arriba. Para ello se supone que la densidad media de las colas es de 140 veh/km de carril (densidad estática)

Aplicando las Ecuaciones de la 4.31 a la 4.36 se obtienen los siguientes valores:

- Permanencia de la cola en fase verde

$$t_0 = \rho r / (1 - \rho) = 0.3 \cdot 42 / (1 - 0.3) = 18.0 \text{ s}$$

- Cola máxima

$$Q_m = \lambda \cdot r / 3600 = 540 \cdot 42 / 3600 = 6 \text{ vehiculos}$$

- Cola media durante el ciclo.

$$\bar{Q} = \lambda \cdot r(r + t_0) / 7200C = 540 \cdot 42 \cdot (42 + 18) / (7200 \cdot 90) = 2.1 \text{ veh}$$

- Tiempo de detención total.

$$TDT = r \mu t_d / 7200 = 1800 \times 42 \times 18 / 7200 = 189 \text{ veh-s}$$

- Tiempo de detención medio.

$$\bar{d} = r t_d / (2 \rho C) = 42 \times 18 / (2 \times 0.3 \times 90) = 14 \text{ s/veh}$$

- Tiempo de detención máximo.

$$d_m = r = 42 \text{ s}$$

En cuanto a la posible obstrucción de la intersección corriente arriba, la cola máxima es de unos 6 vehículos y si la densidad de la cola es de 140 veh/km, cada vehículo ocupará un espacio de $1\,000/140 = 7.14$ m, y toda la cola $7.14 \times 6 = 42.9$ m. Le falta muchísimo a la cola para llegar a los 100 m, de manera que el ingeniero de tránsito puede estar tranquilo por ahora. No obstante, si se predice para el futuro una tasa de llegadas de 1 000 veh/h y se planea aumentar la duración del ciclo a 120 segundos, la duración de la fase roja crecería (en proporción) a 56 s. La longitud de la cola máxima estimada para el futuro sería de $(1\,000 \cdot 56 / 3\,600) \cdot 7.14 = 111.1$ m, lo que anuncia un posible problema de rebose de cola; y aconsejaría la ejecución de un análisis más preciso para respaldar, mejor la decisión que se hiciera.

4.9.3.6 Relación entre filas de espera y ondas de cambio

Si se observa cualquier triángulo de colas de la Figura 4.16 se puede notar que su lado superior representa una onda de cambio densificante y su lado derecho una onda disipante. De hecho, el triángulo de colas es equivalente al triángulo de la Figura 4.15, aunque es difícil reconocer la equivalencia porque aunque la base de ambos triángulos es horizontal, la posición de un triángulo está invertida con respecto a la del otro. También el eje de las ordenadas de la Figura 4.15 representa distancias mientras que el de la Figura 4.16 indica vehículos que han llegado; pero como los vehículos llegan a intervalos constantes y tienen la misma longitud, las escalas de ambos ejes guardan una relación inversamente proporcional entre sí. En resumen, que los triángulos comparados tienen distintas posiciones y escalas, pero representan el mismo fenómeno.

Las ondas de cambio de la Figura 4.16 también se desplazan hacia atrás pues tanto la acumulación como la desacumulación de vehículos tiene lugar en sentido opuesto al del tránsito y corriente arriba. Es posible conocer la velocidad de estas ondas pero para ello habría que saber también qué velocidad traían los vehículos cuando se incorporaron a la cola o cuál era la densidad de la corriente donde estaban.

5. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

Las características en localidades concretas pueden variar en cierta medida de la media nacional debido a los distintos hábitos locales en la conducción y también a los posibles condicionantes singulares del entorno ambiental local sobre la circulación. Los parámetros del tránsito que si bien no se utilizan de forma explícita en los métodos de análisis, sin embargo afectan significativamente tanto a la capacidad como al nivel de servicio.

Las características del tránsito van en función de

- 1 Volumen e intensidad
2. Velocidad
- 3 Densidad
4. Espaciamiento e intervalo
5. Intensidades de saturación
- 6 Tiempos perdidos

Es importante conocer la influencia de estas características en el funcionamiento de la carretera y consecuentemente, en los requisitos para el planeamiento y proyecto, así como las variaciones respecto de la media nacional que pueden deberse a condiciones locales singulares

5 1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Mediante el análisis de los elementos del flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planeamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte. Con la aplicación de las leyes de la física y las matemáticas el análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de funcionalidad

La capacidad de una vía de máxima intensidad horaria de personas o vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar un perfil transversal o tramo uniforme de un carril o calzada durante un periodo definido de tiempo bajo las condiciones prevalecientes de la plataforma, el tránsito y los sistemas de regulación.

5 2 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como las carreteras, las calles, las intersecciones, las terminales, etc., están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales (ocupan un lugar) y temporales (consumen tiempo). Las distribuciones espaciales de los volúmenes de tránsito generalmente resultan del deseo de la gente de efectuar viajes entre determinados orígenes y destinos, llenando así una serie de satisfacciones y oportunidades ofrecidas por el medio ambiente circundante. Las distribuciones temporales de los volúmenes de tránsito son el producto de los estilos y

formas de vida que hacen que las gentes sigan determinados patrones de viaje basados en el tiempo, realizando sus desplazamientos durante ciertas épocas del año, en determinados días de la semana o en horas específicas del día.

Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulara durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición. Los errores que se cometan en la determinación de estos datos, ocasionará que la carretera o calle funcione durante el periodo de proyecto, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, o mal con problemas de congestamiento por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Dichos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios

- **DEFINICIONES**

VOLUMEN DE TRÁNSITO

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

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

Donde

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N = número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = periodo determinado (unidades de tiempo)

VOLUMENES DE TRANSITO ABSOLUTO O TOTALES

Es el número total de vehículos que pasan durante el lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado se tienen los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales

1. Tránsito anual (TA)

Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso, T=1año

2. Tránsito mensual (TM)

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso, T=1 mes

3. Tránsito semanal (TS)

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso, T=1 semana

4 Tránsito diario (TD)

Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso, T=1 día

5. Tránsito horario (TH)

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora. En este caso, T=1 hora

6 Tasa de flujo o flujo (q)

Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora
En este caso, T < 1 hora

En todos los casos anteriores, los periodos especificados, 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 seguidos, 30 días seguidos, 7 días seguidos, 24 horas seguidas, 60 minutos seguidos y periodos en minutos seguidos inferiores a una hora.

VOLUMENES DE TRANSITO PROMEDIO DIARIOS

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo. De acuerdo al número de días de este periodo, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dado en vehículos por día:

1 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

2 Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

3 Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

VOLUMENES DE TRANSITO HORARIOS

Con base en la hora seleccionada, se definen los siguientes volúmenes de tránsito horarios, dados en vehículos por hora

1 Volumen horario máximo anual (VHMA)

Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado. En otras palabras, es la hora de mayor volumen de las 8 760 horas del año.

2. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular

3. Volumen horario-décimo, vigésimo, trigésimo-anual

Es el volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado, que es excedido por 9,19 y 29 volúmenes horarios, respectivamente. También se le denomina volumen horario de la 10a, 20ava y 30ava hora de máximo volumen.

4. Volumen horario de proyecto (VHP)

Es el volumen de tránsito horario que servirá para determinar las características geométricas de la vialidad.

Fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado. No se trata de considerar el máximo número de vehículos por hora que se puede presentar dentro de un año, ya que exigiría inversiones demasiado cuantiosas, sino un volumen horario que se pueda dar un número máximo de veces en el año, previa convención al respecto.

EJEMPLO

En la tabla 1 se presentan los volúmenes de tránsito semanal (vehículos mixtos por semana) durante las 52 semanas de un año, realizados con un contador automático en una carretera rural. Para estos datos se desea calcular los indicadores de los volúmenes de tránsito anual, tránsito mensual, tránsito semanal, tránsito promedio diario anual, tránsito promedio diario mensual y tránsito promedio diario semanal.

Tabla 1 Volúmenes de tránsito semanal durante un año

Mes (No. de días)	Semana Número	Tránsito Semanal (veh/semana)	Mes (No. de días)	Semana Número	Tránsito Semanal (veh/semana)
Enero (31)	1	15424	Julio (31)	27	23418
	2	16728		28	25614
	3	16415		29	27516
	4	14827		30	26618
				31	25091
Febrero (28)	5	10424	Agosto (31)	32	35220
	6	11728		33	32474
	7	10439		34	31823
	8	11314		35	29427
				36	26324
Marzo (31)	9	12425	Septiembre (30)	37	24715
	10	11624		38	22074
	11	13719		39	21981
	12	12824			
	13	12327			
Abril (30)	14	28472	Octubre (31)	40	19424
	15	34214		41	18716
	16	27628		42	19418
	17	24462		43	18473
				44	20422
Mayo (31)	18	18431	Noviembre (30)	45	19744
	19	19157		46	18429
	20	18472		47	17716
	21	19454			
	22	21623			
Junio (30)	23	22613	Diciembre (31)	48	26428
	24	22714		49	27624
	25	23408		50	30784
	26	23718		51	33424
				52	29463

Tránsito anual (TA)

$$8760 \quad 365 \quad 52 \quad 12$$

$$TA = \sum_{h=1} TH_h = \sum_{d=1} TD_d = \sum_{s=1} TS_s = \sum_{m=1} TM_m$$

donde

h, d, s, m = hora, día, semana y mes del año

$$52$$

$$TA = \sum TS_s = TS_1 + TS_2 + TS_3 + \dots + TS_{51} + TS_{52}$$

$$= 15424 + 16728 + 16415 + \dots + 33424 + 29463 = 1\,126\,964 \text{ vehiculos/año}$$

Tránsito mensual (TM).

$$d$$

$$TM_m = \sum_{j=1}^d TD_j$$

$$j=1$$

$$s \quad \dots$$

$$TM_m = \sum_{j=1} TS_j$$

$$j=1$$

donde

d, s = número de días y semanas del mes m

Así para el mes de enero se tiene

$$31 \quad 4$$

$$TM_{\text{enero}} = \sum_{j=1}^{31} TD_j + \sum_{j=1}^4 TS_j = 15424 + 16728 + 16415 + 14827 = 63394 \text{ vehiculos/mes}$$

$$j=1 \quad j=1$$

Tránsito semanal (TS)

$$d$$

$$TS_s = \sum_{j=1}^d TD_j$$

i=1

donde:

d = día de la semana s del año

Para las semanas número 18 y 52, los volúmenes de tránsito semanales son:

$TS_{18} = 18\,431$ vehículos/semana

$TS_{52} = 29\,463$ vehículos/semana

Tránsito promedio diario anual (TPDA):

$TPDA = TA/365 = 1\,126\,964/365 = 3088$ vehículos/día

Tránsito promedio diario mensual (TPDM).

$TPDM_m = TM_m/d$

Donde:

d = número de días del mes m

Los volúmenes de tránsito promedio diario mensual para los meses de enero y febrero son

$TPDM_{\text{enero}} = TM_{\text{enero}}/31 = 63\,394/31 = 2\,045$ vehículos/día

$TPDM_{\text{febrero}} = TM_{\text{febrero}}/28 = 43\,905/28 = 1\,568$ vehículos/día

Tránsito promedio diario semanal (TPDS):

$TPDS_s = TS_s/7$

Donde

s= semana s del año

Por lo tanto para las semanas 18 y 52, se tiene

$TPDS_{18} = TS_{18}/7 = 18\,431/7 = 2\,633$ vehículos/día

$TPDS_{52} = TS_{52}/7 = 29\,463/7 = 4\,209$ vehículos/día

• USO DE LOS VOLUMENES DE TRANSITO

De una manera general, los datos sobre volúmenes de tránsito se utilizan ampliamente en los siguientes campos:

- 1 Planeación

- Clasificación sistemática de redes de carreteras.
 - Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito
 - Modelos de asignación y distribución de tránsito
 - Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades
 - Análisis económicos
 - Estimaciones de la calidad del aire
 - Estimaciones del consumo de combustibles
- 2 Proyecto
- Aplicación a normas del proyecto geométrico
 - Requerimientos de nuevas carreteras
 - Análisis estructural de superficies de rodamiento
3. Ingeniería de tránsito
- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades
 - Caracterización de flujos vehiculares
 - Zonificación de velocidades
 - Necesidad de dispositivos para el control del tránsito
 - Estudio de estacionamientos
4. Seguridad
- Cálculo de índices de accidentes y mortalidad
 - Evaluación de mejoras por seguridad
5. Investigación
- Nuevas metodologías sobre capacidad
 - Análisis e investigación en el campo de los accidentes y la seguridad
 - Estudio sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito
 - Estudios de antes y después
 - Estudios sobre el medio ambiente y la energía
- 6 Usos comerciales
- Hoteles y restaurantes
 - Urbanismo
 - Autoservicio
 - Actividades recreacionales y deportivas

Específicamente, dependiendo de la unidad de tiempo en que se expresen los volúmenes de tránsito, éstos se utilizan para:

- 1. Los volúmenes de tránsito anual (TA)**
 - Determinar los patrones de viaje sobre áreas geográficas
 - Estimar los gastos esperados de los usuarios de las carreteras
 - Calcular índices de accidentes
 - Indicar las variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito, especialmente en carreteras de cuota
- 2. Los volúmenes de tránsito promedio diario (TPD)**
 - Medir la demanda actual en calles y carreteras
 - Evaluar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial
 - Definir el sistema arterial de calles

- Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes
 - Programar mejoras capitales
3. **Los volúmenes de tránsito horario (TH)**
- Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda
 - Evaluar deficiencias de capacidad
 - Establecer controles en el tránsito, como: colocación de señales, semáforos y marcas viales; jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tránsito; y prohibición de estacionamiento, paradas y maniobras de vueltas.
 - Proyectar y rediseñar geométricamente calles e intersecciones
4. **Las tasas de flujo (q)**
- Analizar flujos máximos
 - Analizar variaciones del flujo dentro de las horas de máxima demanda
 - Analizar limitaciones de capacidad en el flujo de tránsito
 - Analizar las características de los volúmenes máximos

CARACTERÍSTICAS DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como *dinámicos*, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de las fuerzas dedicadas al control del tránsito y labor preventiva, a sí como las de conservación. Por ejemplo, si se sabe que en semana santa se va a tener el mayor numero de accidentes de tránsito, se debe planear una campaña preventiva para actuar antes y durante esa semana. Por otro lado en esta semana no se deben realizar trabajos de reparacion normal en la calle o carretera, pues pueden estorbar o resultar peligrosos.

Por lo tanto, es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de maxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Aun mas, también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en funcion de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

La distribución de los volúmenes de tránsito por carriles debe ser considerada, tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras. Tratándose de tres o más carriles de operacion en un sentido, el flujo se semeja a una corriente hidráulica. Así, al medir los volúmenes de tránsito por carril, en zona urbana, la mayor velocidad y capacidad, generalmente se logran en el carril del medio; las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis y las vueltas izquierdas y derechas causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen el carril cercano a la acera. En carretera, a volúmenes bajos y medios suele ocurrir lo contrario, por lo que se reserva el carril cerca de la faja separadora central para vehiculos rápidos y para rebases, y se presentan mayores volúmenes en el carril inmediato al acotamiento. En autopistas de tres carriles con alto

volúmenes de tránsito, rurales o urbanas. por lo general hay mayores volúmenes en el carril inmediato a la faja separadora central.

En cuanto a la distribución direccional, las calles que comunican el centro de la ciudad con al periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el flujo de tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el flujo de tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en las tardes y noches. Es una situación semejante al flujo y reflujo que se presenta los fines de semana cuando los vacacionistas salen de la ciudad el viernes y sábado y regresan el domingo en la tarde. Este fenómeno se presenta especialmente en arterial del tipo radial. En cambio, ciertas arterias urbanas que comunican "centros de gravedad" importantes, no registran variaciones direccionales muy marcadas en los volúmenes de tránsito. Un ejemplo de éstos puede citarse en el caso del Anillo Periférico de la Ciudad de México, en su tramo entre el Viaducto y Naucalpan, donde la distribución direccional es bastante equilibrada, tanto en las horas de máxima demanda de la mañana, como en las de la tarde, es decir, no hay mucha diferencia entre los volúmenes en uno u otro sentido.

Igualmente, en los estudios de volúmenes de tránsito muchas veces es útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones. En los países más adelantados, con un mayor grado de motorización, los porcentajes de autobuses y camiones en los volúmenes de tránsito son bajos. En cambio, en países con menor grado de desarrollo, el porcentaje de estos vehículos grandes y lentos es mayor. En nuestro medio, como es el caso de México, a nivel rural, es muy común encontrar porcentajes típicos o medios del orden de 60% automóviles, 10% autobuses y 30% camiones, con variaciones de $\pm 10\%$, dependiendo del tipo de carretera, la hora del día y el día de la semana.

VARIACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo. En cualquiera de estos casos, es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar la planeación de los controles del tránsito para estos periodos durante el día, tales como prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo mucho mayores a las de la hora misma. Para la hora de máxima demanda, se llama factor de la hora de máxima demanda, FHMD, a la relación entre el volumen horario de máxima demanda, VHMD, y el flujo máximo, q_{max} , que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa como:

$$FHMD = VHMD / N(q_{max})$$

Donde:

N = número de periodos durante la hora de máxima demanda

Los periodos dentro de la hora de máxima demanda son de 15 minutos (periodo más corto de tiempo en el que se presenta una circulación estable, HCM), en cuyo caso el factor de la hora de máxima demanda es

$$FHMD = VHMD / 4 (q_{ma, 15})$$

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

VARIACIÓN HORARIA DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen del tipo de ruta según las actividades que prevalezcan en ella, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc.

En zonas agrícolas las variaciones horarias dentro de la época de cosecha son extraordinarias; puede ser que en ciertas horas de la noche no haya absolutamente ningún vehículo y, sin embargo, a determinadas horas del día hay tal cantidad de vehículos que pueden llegar a saturar, por ejemplo, una carretera de dos carriles. En el caso de una carretera de tipo turístico, durante los días entre semana existe un tránsito más o menos normal a lo largo de todas las horas, pero los sábados y domingos puede llegar a volúmenes sumamente altos, encontrándose varias horas del día con demandas máximas. El día sábado, de las 8 de la mañana a las 11 o 12 el volumen horario es muy grande, en la tarde baja y ya en la noche es bastante pequeño. El domingo, en la mañana presenta volúmenes horarios medianos, y en la tarde máximos en las horas del regreso a la ciudad, ocurriendo largas filas de automóviles. Son variaciones horarias que ocurren en cualquier parte del mundo, que se pueden prever mediante los estudios necesarios.

En las ciudades se tiene una variación típica de la siguiente manera hasta hace poco tiempo, la madrugada empieza con bajo volumen de vehículos, el cual se va incrementando hasta alcanzar cifras máximas entre las 7:30 y las 9:30 hrs. De las 9:30 a las 13:30 horas vuelve a bajar y empieza a ascender entre las 14:00 y las 15:00 horas. Vuelve de nuevo a disminuir entre las 14:00 y las 18:00 hrs., cuando asciende otra vez para alcanzar un tercer valor máximo entre las 18:00 y las 20:00 horas. De esta hora en adelante tiende a bajar al mínimo en la madrugada.

VARIACIÓN DIARIA DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

Se han estudiado cuáles son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Así, para carreteras principales de lunes a viernes los volúmenes son muy estables, los máximos, generalmente se registran durante el fin de semana, ya sea el sábado o el domingo, debido a que durante estos días por estas carreteras circula una alta demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad, la variación de los volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto

es, están más o menos distribuidos en los días laborales, sin embargo, los más altos volúmenes ocurren el viernes.

También vale la pena mencionar, con referencia a la variación diaria de los volúmenes de tránsito tanto a nivel urbano como rural, que se presentan máximo en aquellos días de eventos especiales como Semana Santa, Navidad, fin de año, celebraciones especiales, etc

VARIACIÓN MENSUAL DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en Semana Santa, vacaciones escolares y a fin de año. Por esta razón, los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también, en cierta manera, de la categoría y del tipo de servicio que presten las calles y carreteras. Sin embargo, el patrón de variación de cualquier vialidad no cambia grandemente de año a año, a menos que ocurran cambios importantes en su diseño, en los usos de la tierra, o se construyan nuevas calles o carreteras que funcionen como alternas.

VOLÚMENES DE TRÁNSITO FUTURO

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, por ejemplo el TPDA del año de proyecto, en el mejoramiento de una carretera existente o en la construcción de una nueva carretera, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera.

Los volúmenes de tránsito futuro, TF, para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual, TA, y del incremento del tránsito, IT, esperado al final del periodo o año meta seleccionado. De acuerdo a esto, se puede plantear la siguiente expresión:

$$TF = TA + IT$$

El tránsito actual, TA, es el volumen de tránsito que usará la carretera mejorada o la nueva carretera en el momento de quedar completamente en servicio. En el mejoramiento de una carretera existente, el tránsito actual se compone del tránsito existente, TE, antes de la mejora, más el tránsito atraído, TAt, a ella de otras carreteras una vez finalizada su reconstrucción total. En el caso de la apertura de una nueva carretera, el tránsito actual se compone completamente de tránsito atraído.

El tránsito actual, TA, se puede establecer a partir de aforos vehiculares sobre las vialidades de la región que influyan en la nueva carreteras, estudios de origen y destino, o utilizando parámetros socioeconómicos que se identifiquen plenamente con la economía de la zona. En áreas rurales cuando no se dispone de estudios de origen y destino ni datos de tipo económico, para estudios preliminares es suficiente la utilización de las series históricas de los aforos vehiculares en términos de los volúmenes de tránsito promedio diario anual, TPDA, representativos de cada año.

De esta manera, el tránsito actual, TA, se expresa como:

$$TA = TE + TAt$$

Para la estimación del tránsito atraído, TAt, se debe tener un conocimiento completo de las condiciones locales, de los orígenes y destinos vehiculares y del grado de atracción de todas las vialidades comprendidas. A su vez, la cantidad de tránsito atraído depende de la capacidad y de los volúmenes de las carreteras existentes, así por ejemplo, si están saturadas o congestionadas, la atracción será mucho más grande. Los usuarios, componentes del tránsito atraído a una nueva carretera, no cambian ni su origen, ni su destino, ni su modo de viaje, pero la eligen motivados por una mejora en los tiempos de recorrido, en la distancia, en las características geométricas, en la comodidad y en la seguridad. Como no se cambia su modo de viaje, a este volumen de tránsito también se le denomina tránsito desviado.

El incremento del tránsito, IT, es el volumen de tránsito que se espera use la nueva carretera en el año futuro seleccionado como de proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito, CNT, del tránsito generado, TG, y del tránsito desarrollado, TD.

El crecimiento normal del tránsito, CNT, es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando. Sin embargo, deberá tenerse gran cuidado en la utilización de los indicadores del crecimiento del parque vehicular nacional para propósitos de proyecto, ya que no necesariamente reflejan las tasas de crecimiento en el área local bajo estudio, aunque se ha comprobado que existe cierta correlación entre el crecimiento del parque vehicular y el crecimiento del TPDA.

El tránsito generado, TG, consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían sin o se construye la nueva carretera. El tránsito generado se compone de tres categorías: el tránsito inducido, o nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte, el tránsito convertido, o nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi, autobús, tren, avión o barco, y que por razón de la nueva carretera se harían en vehículos particulares; y el tránsito trasladado, consistente en viaje previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso de suelo. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un periodo de generación de uno o dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

El tránsito desarrollado, TD, es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal de tránsito, por lo tanto, éste no se considera como una parte del tránsito desarrollado. Pero la experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando un tránsito adicional el cual se considera como tránsito desarrollado, con valores del orden del 5% del tránsito actual.

Por lo tanto, el incremento del tránsito, IT, se expresa así:

$$IT = CNT + TG + TD$$

También se define el factor de proyección, FP, del tránsito como la relación del TF al TA:

$$FP = TF/TA = (TA + IT)/TA$$

El factor de proyección, FP, deberá especificarse para cada año futuro. El valor utilizado en el pronóstico del tránsito futuro para nuevas vialidades, sobre la base de un periodo de proyecto de 20 años, está en el intervalo de 1.5 a 2.5. Conocido el factor de proyección, el tránsito futuro, TF, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$TF = FP (TA)$$

Para obtener estimativos confiables de los volúmenes vehiculares que circularán en el futuro por libramientos o vialidades alternas, se utilizan modelos de asignación de tránsito, los cuales son alimentados por las demandas pronosticadas, las que a su vez se estiman con modelos de demanda. Estos se calculan utilizando parámetros socioeconómicos (como la población total, la población económicamente activa, la población ocupada y los vehículos registrados) y las demandas actuales obtenidas a través de encuestas de origen y destino. Por lo general, la asignación es de tipo probabilística con base en una función de utilidad que toma en cuenta el tiempo de recorrido, las tarifas, los costos de operación, las características geométricas, y los volúmenes actuales y su composición.

El pronóstico de los volúmenes de tránsito futuro en áreas urbanas aún es mucho más complejo. En el análisis de flujos vehiculares en redes de transporte, la primera fase del proceso consiste en un inventario, en el año base, de las facilidades de transporte existentes y sus características, de los patrones de viaje determinados a través de encuestas de origen y destino y aforos vehiculares; y de los factores de planeación como usos del suelo, distribución de los ingresos, estructura urbana y tipos de empleo. Igualmente, es necesario obtener información relacionada con el crecimiento de la población, el tamaño de la ciudad y los vehículos registrados.

La segunda fase tiene como propósito llevar los datos recolectados en la primera fase, a relaciones o fórmulas mediante el desarrollo de modelos. El modelo de generación de viajes, que relaciona los viajes producidos (orígenes) y atraídos (destinos) con los usos del suelo, la densidad de la población, la distribución del ingreso y el tipo de empleo. El modelo de distribución de viajes, que apoyado en fórmulas, describe cómo se distribuyen los viajes entre un origen y varios destinos de acuerdo al grado de atracción de las diferentes zonas. Y el modelo de asignación de tránsito, que determina cómo se asignan los viajes entre sí sobre las diversas rutas entre cada origen y destino, incluyendo elección de modos.

La tercera fase de pronósticos o extrapolaciones, realiza predicciones sobre el uso futuro del suelo, la población, etc., con base en los desarrollos históricos, estimando la generación y distribución de viajes en el futuro.

La cuarta fase, o final, asigna los viajes pronosticados, o futuros, a las rutas de la red de transporte que incluye nuevas vialidades. Se efectúan estudios económicos de costo-beneficio para evaluar las diferentes alternativas orientadas hacia la expansión del sistema vial y de transporte.

5.3 Características de la velocidad

Se pueden definir diferentes velocidades en una corriente de circulación. Estas son

- 1 Velocidad media en movimiento – También se la denomina "velocidad media espacial" en la bibliografía existente. Es una media de la corriente circulatoria basada en la observación del tiempo de recorrido de los vehículos para recorrer un tramo de carretera de una longitud dada. Se la define como la longitud del segmento dividida por el tiempo medio en movimiento de todos los vehículos que recorren dicho segmento.

El "tiempo de movimiento" hace referencia sólo al tiempo en que los vehículos están circulando por lo que no incluye las demoras de las paradas.

- 2 Velocidad media de recorrido – Es también una medida de la circulación basada en el registro del tiempo invertido en el recorrido de un tramo de carretera dado. Se define como la longitud de un segmento dividida por el tiempo medio de recorrido de todos los vehículos que recorren dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demora debido a paradas. Es también una "velocidad media espacial" puesto que la utilización de los tiempos medios de recorrido, de hecho pondera la media en función del lapso de tiempo en que un vehículo ocupa el segmento, o "espacio", determinado de la vía.
- 3 Velocidad media temporal – Es la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos que pasan por un punto fijo de la carretera, también se la denomina "velocidad media puntual". Se registra la velocidad de cada uno al pasar por un punto fijo, y se halla la media aritmética. En vías de circulación continua que no están operando en el NS F, la velocidad media de recorrido es igual a la velocidad media en movimiento.

RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD, FLUJO Y DENSIDAD POR CIRCULACION CONTINUA.

Rara vez es posible medir las relaciones existentes entre la velocidad, la intensidad y la densidad en vías de circulación continua, ya que es raro poder medir las características en condiciones de operación ideales, especialmente cuando las intensidades se acercan a la capacidad. Prácticamente la totalidad de los datos de que se dispone para la calibración de dichas relaciones están sujetos a la influencia del cambio de las condiciones ambientales a la heterogeneidad de vehículos dentro de la corriente circulatoria y (principalmente en vías urbanas) a la falta de aislamiento total de los ramales y enlaces.

La forma y la calibración de tales relaciones son de la mayor importancia, puesto que en redes viarias de circulación continua proporcionan la base para elegir la medida de la eficacia y para definir el campo de variación de los niveles de servicio. Dichas relaciones también se utilizan para estimar la capacidad de las vías de circulación continua así como las condiciones de operación bajo las cuales se alcanza la capacidad. Para esto último se precisa la identificación clara del "pico" o punto de volumen máximo de las curvas velocidad-intensidad o velocidad-densidad. Este proceso está cargado de incertidumbre debido a las confusas oscilaciones de los datos que generalmente se observan en la mayoría de las vías en las proximidades de la capacidad.

Muchos investigadores al reconocer dichas dificultades, han desarrollado "modelos" analíticos que describen estas relaciones, de los cuales se pueden extrapolar la capacidad de una carretera, así como la intensidad de servicio asociada a los distintos niveles de servicio.

RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD

A medida que aumenta el número de coches que ocupa una calzada (densidad), se produce una paulatina disminución de la velocidad. Debido a este fenómeno, las primeras investigaciones sobre la circulación trataron la relación entre la velocidad y la densidad Greenshields en 1934, en su estudio de la capacidad, postulo la existencia de una relación lineal entre la velocidad y la densidad, dicho modelo presenta la ventaja de su simplicidad y en muchos casos proporciona un buen ajuste de los datos observados.

La expresión matemática del modelo de Greenshields es:

$$V = V_f \left(1 - \frac{D}{D_a} \right)$$

Siendo:

V = velocidad, en km/h

D = densidad, en v/h/c.

V_f = velocidad en régimen libre, en km/h; y

D_a = densidad de atasco, en v/h/c

El modelo lineal es simple y práctico. Sin embargo, el planteamiento seguido, por otros investigadores para modelar la circulación está basado en otros fenómenos físicos Greenberg desarrolló un modelo basado en el estado de fluido "unidimensional", obteniendo la expresión siguiente:

$$V = V_c \times \ln(D_a/D)$$

En la que V_c es la velocidad crítica (en capacidad), en km/h, siendo el resto de las variables las anteriormente definidas.

El modelo es de gran utilidad, principalmente para describir los flujos de congestión, pero falla para densidades bajas, puesto que el valor teórico de la velocidad cuando la densidad es cero tiende a infinito.

RELACIONES ENTRE LA DENSIDAD Y EL FLUJO

Dado que la intensidad, velocidad y densidad están relacionadas por la fórmula

$I = V \times D$, se deduce que al determinar la relación entre la velocidad y la densidad también quedan fijadas las relaciones entre la densidad y la intensidad, y la de la velocidad y la intensidad

Si la densidad es cero, no puede haber flujo alguno. Si la calzada se encuentra con la densidad de atasco (en la que la velocidad es cero), igualmente tampoco hay flujo alguno. Puesto que la velocidad media espacial es igual al flujo partido por la densidad, V/D , la pendiente de la curva calibrada densidad-intensidad, en el origen (densidad cero), es la velocidad en régimen libre

Puesto que entre la densidad nula y la de atasco se observan distintos valores del flujo, entre estos dos puntos debe haber uno o varios flujos máximos.

RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD Y EL FLUJO

La relación entre la velocidad y la intensidad se obtiene también directamente una vez fijadas cualquiera de las curvas de velocidad-densidad o densidad-intensidad. Como la velocidad y la intensidad son los dos parámetros de medición más fáciles, y puesto que históricamente la velocidad es la medida de la eficacia principal en los análisis de nivel de servicio, la curva velocidad-intensidad es la que generalmente se calibra a partir de los datos de campo.

Velocidades de proyecto y velocidad de operación

Debe entenderse "velocidad de proyecto" a la velocidad máxima en que se puede recorrer un camino dentro de los límites de seguridad. Esa es la velocidad que los ingenieros usan como dato al proyectar los diferentes aspectos geométricos del camino. Y dicho dato, en general, ha sido fijado de acuerdo con los tipos de terreno que van a alojar el camino, y el presupuesto disponible para construirlo. A algunos les parecerá sorprendente que un camino sea tanto más caro cuanto más recto es, es decir, mientras tenga menos curvas. Esto no será cierto en terreno plano, ya que a menor longitud corresponde un costo menor. Pero tratándose de terreno montañoso, como sucede en buena parte de nuestro territorio, querer suprimir curvas significa mayores excavaciones, acarreos y rellenos, además de mayores y más numerosas estructuras para salvar las corrientes de agua y las cañadas, y lo que necesariamente elevará el costo.

Debe aclararse que una cosa es la velocidad para la que se proyectan las curvas y otra es la velocidad a la cual suele conducir el público en esas curvas.

La inercia es la propiedad de los cuerpos de conservarse en movimiento sin cambiar de dirección. Al tomar una curva, la resistencia de las llantas contra el pavimento impide que el vehículo se siga de frente. El grado de resistencia entre las llantas y el pavimento, o sea, el coeficiente de fricción, puede ser alterado por la presencia de agua, arena suelta, aceite o hielo sobre la superficie de rodamiento. O sea, que lo que son condiciones de seguridad a 90 kilómetros por hora en cierto tramo de curvas, puede ser causa de muerte a 40 kilómetros por hora si el coeficiente de fricción ha sido alterado. Los baches y los topes inadvertidos también hacen que disminuya momentáneamente la fricción entre llantas y pavimento.

Los estudios realizados indican que, por lo general, los promedios de las velocidades de operación en las curvas son ligeramente inferiores a la velocidad de proyecto empleada, esto no es más que la expresión de cómo se adapta el usuario al medio y su comprensión de las limitaciones que le impone el camino. También es cierto que en estos promedios siempre habrá un pequeño porcentaje de usuarios que viajan a velocidades mayores que la velocidad de proyecto. Entre ellos están los infractores y los accidentados.

Distancia de visibilidad

Otra de las partes muy importantes de la carretera es la llamada "distancia de visibilidad". No es un factor que podamos señalar fácilmente, sino una dimensión mínima que ha sido considerada al proyectar el camino para cumplir con los requisitos de seguridad. La distancia de visibilidad se aplica a las curvas verticales y a las horizontales, y debe permitir, como mínimo, que un vehículo que rebasa a otro tenga suficiente distancia para evitar una colisión si aparece otro vehículo que se aproxima en sentido contrario. Se supone que el vehículo rebasado, y el que viene hacia nosotros, viajan a la velocidad de proyecto

En una maniobra de esa naturaleza pueden existir dos soluciones. En una puede haber suficiente distancia para que el vehículo complete el rebase después de advertir la presencia del vehículo en sentido opuesto. En este caso, se le llama "distancia de visibilidad de rebase". En la otra solución podrá haber distancia suficiente sólo para que el vehículo que efectúa el rebase pueda regresar, con un margen de seguridad a su propio carril sin completar el rebase, o bien parar antes de chocar con el vehículo que aparece viajando en sentido contrario, o con un obstáculo en su propio carril. En este caso se le llama a este margen "distancia de visibilidad de parada" y es, desde luego, menor que la primera

Lo ideal sería que todas las carreteras fueran proyectadas con la distancia necesaria de visibilidad de rebase. Como resultaría muy caro hacerlo así, se ha fijado como norma mínima la distancia de visibilidad de parada. Desgraciadamente, muchas carreteras no fueron proyectadas con esta norma, lo que se traduce en serias limitaciones para las mismas

Otro factor primordial importancia en un camino es su capacidad para alojar la corriente vehicular. Todo camino tiene un límite en tal sentido, más allá del cual se producen congestiones o paralizaciones totales.

La capacidad se mide en automóviles por hora y por carril, generalmente. Se usa la unidad "automóvil" por la facilidad que ofrece de tomar en cuenta la influencia de los vehículos pesados en la corriente del tránsito, al considerarlos como un factor variable según el porcentaje de los mismos con respecto al total.

5.4 Relación velocidad-flujo-densidad

Mediante el análisis de los elementos del flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planeamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte. Con la aplicación de las leyes de la física y las matemáticas el análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de funcionalidad.

Uno de los resultados más útiles del análisis del flujo vehicular es el desarrollo de modelos microscópicos y macroscópicos que relacionan sus diferentes variables como el volumen, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento. Estos modelos han sido la base del desarrollo del concepto de capacidad y niveles de servicio aplicado a diferentes tipos de vialidades.

Las características fundamentales del flujo vehicular son el volumen, la velocidad y la densidad. Mediante la deducción de relaciones entre ellas, se pueden determinar las

características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación o de proyecto. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables reviste singular importancia, ya que éstas indican la calidad o nivel de servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial.

A continuación se verán los principales conceptos relacionados con las variables del flujo vehicular

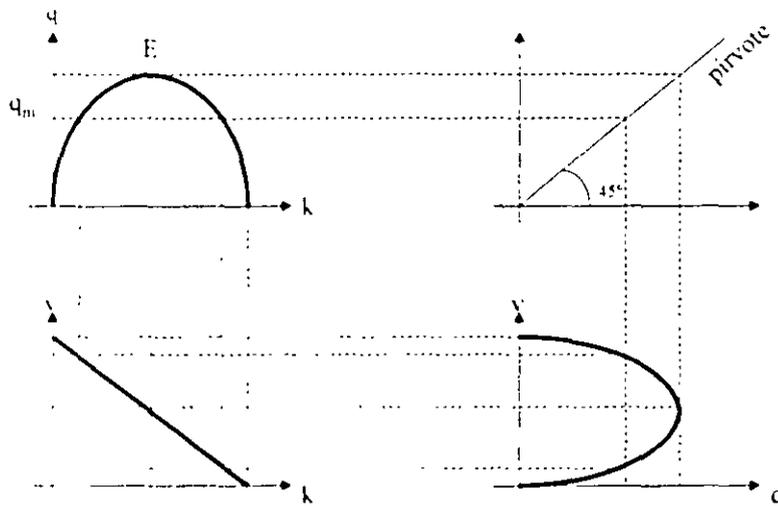


Diagrama fundamental del flujo vehicular

Una corriente de tránsito dentro de un sistema vial, funciona aceptablemente bien cuando la magnitud del flujo, circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema, en otras palabras, cuando el sistema tiene la suficiente capacidad (oferta) para alojar el flujo vehicular presente (demanda), sin demoras excesivas para los usuarios. Igualmente, cuando los valores de los flujos vehiculares están muy próximos a los de la capacidad el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente. Más aun, los flujos vehiculares inferiores a la capacidad, que circulan a velocidades bajas y densidades altas, representan condiciones de operación forzada, que incluso pueden llegar a detenciones momentaneas del tránsito, produciendo bajos niveles de operación. Por otro lado, las mejores condiciones de operación se logran con la presencia de algunos vehiculos circulando en el sistema vial a velocidades de flujo libre.

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones físicas y de operación.

Asi mismo, no puede tratarse la capacidad de un sistema vial sin hacer referencia a otras consideraciones importantes que tienen que ver con la calidad del servicio proporcionado.

Por lo tanto, un estudio de capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia (cuantitativo) y la calidad (cualitativo) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda).

6. ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

PRINCIPIOS Y CONCEPTOS GENERALES

Concepto de Capacidad Vial

En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura, se considera como una cantidad conocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda, es su capacidad u oferta

Aparte del estudio de la capacidad de las carreteras y calles, el propósito que también generalmente se sigue es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de arteria

La capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable

La infraestructura vial, sea ésta una carretera o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos, que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, tales como los semáforos, las señales de alto y otros tipos de regulación

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.

Condiciones prevalecientes

Es necesario tener en cuenta el carácter probabilístico de la capacidad, por lo que puede ser mayor o menor en un instante dado. A su vez, como la definición misma lo expresa, la capacidad se define para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar la modifican, éstos se agrupan en tres tipos generales

1 *Condiciones de la infraestructura vial*

Son las características físicas de la carretera o calle (de tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de accesos, dividida o no, de dos o más carriles, etc.), el desarrollo de su entorno, las características geométricas (ancho de carriles y acotamientos, obstrucciones laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase y características de los alineamientos), y el tipo de terreno donde se aloja la obra.

2 *Condiciones del tránsito*

Se refiere a la distribución del tránsito en el tiempo y en el espacio, y a su composición en tipos de vehículos como livianos, camiones, autobuses y vehículos recreativos.

3. *Condiciones de control*

Hace referencia a los dispositivos para el control del tránsito, tales como semáforos y señales restrictivas (alto, ceda el paso, no estacionarse, sólo vueltas a la izquierda, etc.).

Concepto de Nivel de Servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

El Manual de Capacidad de Carreteras, ha establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor. Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas viales de circulación continua son:

1 *Nivel de servicio A*

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón, es excelente.

2 *Nivel de servicio B*

Esta dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

3 *Nivel de servicio C*

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

4. *Nivel de servicio D*

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento

5. *Nivel de servicio E*

El funcionamiento está en el, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a "ceder el paso". Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos

6. *Nivel de servicio F*

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman líneas de espera, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.



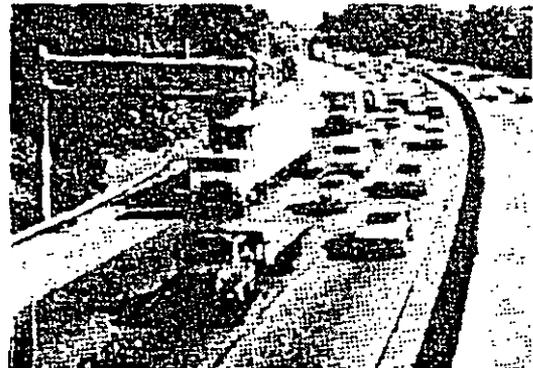
Nivel de Servicio A



Nivel de Servicio B



Nivel de Servicio C



Nivel de Servicio D



Nivel de Servicio E



Nivel de Servicio F

6.1 Factores que afectan la capacidad, la intensidad de servicio y el nivel de servicio.

Condiciones Ideales

Un conjunto de condiciones definidas como estándar, que deben ajustarse para tener en cuenta cualquier tipo de situación prevaleciente que no coincida con ellas, a menudo se denominan "ideales" a aquellas condiciones estándar.

En principio una condición ideal es aquella cuya mejora no produce incremento alguno de la capacidad

Condiciones ideales de las vías de circulación continua y de las intersecciones semaforizadas:

1. Carriles de 3.60 metros de ancho
2. Una distancia de 1.80 metros entre los bordes exterior de la calzada (acotamiento)
3. Una velocidad de proyecto de 112 km/h en carreteras multicarril, o 96 km/h en carreteras de dos carriles.
4. Una circulación constituida únicamente por vehículos ligeros (particulares)

Se considera que un acceso a una intersección semaforizada tiene condiciones ideales cuando consta de

- 1 Carriles de 3.60 metros de ancho
2. Rasante a nivel (sin inclinación)
3. Inexistencia de estacionamientos junto a los accesos de la intersección
- 4 Una circulación constituida únicamente por vehículos ligeros (particulares), sin que existan siquiera autobuses locales que paren dentro de la zona de la intersección.
- 5 Todos los vehículos cruzan la intersección, sin realizar ningún giro
- 6 Su situación es exterior al CBD (zona urbana más céntrica y con mayor actividad comercial)
7. Dispone de una señal verde semafórica en todo momento.

En la mayoría de los análisis de capacidad, las condiciones prevalecientes no son las ideales, por lo que se deben incluir ciertos ajustes en los cálculos de la capacidad, intensidad de servicio o nivel de servicio. Las condiciones prevalecientes se clasifican en los tres grupos siguientes, condiciones de la vía, la circulación y de la regulación.

6.2 Análisis de los elementos del Manual de Capacidad de Carreteras

ANTECEDENTES

El Manual de Capacidad de Carreteras fue originalmente publicado en 1950 por el entonces Bureau of Public Roads como una guía para el dimensionamiento y el análisis de la circulación de las infraestructuras del transporte. El Manual de Capacidad vigente actualmente fue desarrollado por el Comité de Carreteras y Calidad de Servicio del Transportation Research Board (Junta de Investigación del Transporte).

Los procedimientos y metodologías de este manual emanan de una amplia gama de investigaciones empíricas desarrolladas desde mediados de la década de los sesenta. Los procedimientos reflejan la experiencia operativa en Norte América, aunque en el caso de México se pueden considerar algunos factores en forma similar, inclusive los procedimientos de diseño sugeridos por el Manual de Capacidad son usados en México para conocer la capacidad de la infraestructura de Transporte.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo del Manual de Capacidad es el análisis de la capacidad, que es la estimación de la máxima cantidad de tránsito que puede aceptar una estructura dada. Las estructuras para la circulación vial generalmente tienen un rendimiento pobre en el entorno de la capacidad, y raramente se proyectan o planean para operar en este régimen. El análisis de capacidad se concibe también para estimar la máxima cantidad de tránsito al que puede dar servicio una instalación manteniendo unas calidades operativas dadas.

Por lo tanto, el análisis de capacidad es un conjunto de procedimientos utilizados para estimar la aptitud de las infraestructuras para soportar el tránsito vehicular en un entorno determinado de condiciones operativas. Proporciona unas herramientas para el análisis y mejora de las estructuras existentes, así como para el planeamiento y proyecto de las futuras.

La definición de los criterios operativos se aborda por medio de los *niveles de servicio*. Para cada tipo de instalación se definen los dominios de los distintos entornos de las condiciones operativas, que se relacionan con las cantidades de tráfico a las que puede dar servicio cada nivel.

En el presente documento se muestra el uso de un paquete que emplea los criterios de diseño señalados en el Manual de Capacidad de 1985, convirtiéndose en una herramienta de gran utilidad para facilitar los cálculos y mejorar la toma de decisiones, asimismo se sugieren una serie de ejercicios para familiarizarse con el uso del programa.

HIGHWAY CAPACITY SOFTWARE (HCS)

El Highway Capacity Software (HCS) fue desarrollado en base a los procedimientos del Manual de Capacidad de 1985

MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS

A continuación se da una breve referencia, así como los datos más importantes de diseño señalados por el Manual de Capacidad y utilizados para alimentar al HCS.

En cuanto a consideraciones generales, en los capítulos del Manual de Capacidad relacionados con segmentos básicos de autopista, entrecruzamientos y rampas, los procedimientos presentados tratan solamente las características aisladas de los segmentos considerados. Los procedimientos asumen que la vialidad se encuentra en *condiciones ideales*

- 1 Buenas condiciones del pavimento
- 2 Inexistencia de incidentes de tránsito
- 3 Buenas condiciones meteorológicas

El HCS muestra al entrar un menú principal, el cual incluye las siguientes opciones:

1. Segmentos básicos de autopista
2. Áreas de entrecruzamiento
3. Rampas e intersecciones de rampas
4. Carreteras Multicarril

5. Carreteras de dos carriles
 6. Análisis de segmentos compuestos
 7. Intersecciones reguladas por semáforos
 8. Intersecciones sin semáforos
 9. Arterias urbanas y suburbanas
- 0 Transporte colectivo
- A. Peatones

I. SEGMENTOS BÁSICOS DE AUTOPISTA

I.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Se puede definir una autopista como una instalación vial de calzadas separadas cada una con dos o más carriles dedicada exclusivamente al tránsito de automóviles y teniendo un control total de los accesos y de las salidas

La autopista es el único tipo de carretera que proporciona un flujo completamente continuo. No existen interrupciones externas a la circulación, tales como intersecciones semaforizadas o controladas por señales de ALTO. El acceso y la salida desde la carretera se produce únicamente en los ramales, que están generalmente proyectados para permitir las maniobras de confluencia y bifurcación a altas velocidades, y por lo tanto, minimizando las alteraciones al tránsito de la vía principal

Debido a estas características, las condiciones operativas se deben fundamentalmente a las interacciones entre los vehículos de la corriente, y las características geométricas de la autopista. Las operaciones también quedan afectadas por condiciones ambientales, tales como el clima, las condiciones del pavimento, y/o presencia de incidentes de tránsito

En este capítulo se enuncian los procedimientos que relacionan las condiciones de circulación probables de una autopista con las condiciones geométricas y del tránsito que existen durante un periodo definido en un segmento específico de ella. Asimismo, se detallan los procedimientos para el análisis de circulación, dimensionamiento y planeación de segmentos básicos de una autopista

DEFINICIÓN

Un segmento básico de una autopista es una sección que no se ve afectada ni por movimientos de confluencia o bifurcación en ramales cercanos ni por movimientos de trenzado (FIGURA 1).

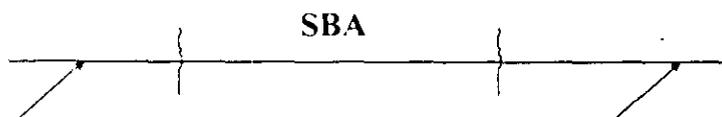


FIGURA 1 SEGMENTO BÁSICO DE AUTOPISTA

NIVELES DE SERVICIO

Las características operativas de una autopista contemplan un amplio campo de intensidades para los cuales la velocidad es relativamente constante. Esto quiere decir que la velocidad por sí sola no es una medida del comportamiento a través de la cual se puedan definir adecuadamente los niveles de servicio.

Aunque la velocidad es una de las mayores preocupaciones de los conductores en relación con la calidad del servicio, la libertad de maniobra y la proximidad a otros vehículos son parámetros de la misma importancia. Estas otras cualidades están directamente relacionadas con la densidad de la corriente de tránsito de la autopista. Es más, la intensidad aumenta para densidades crecientes en todo el dominio de flujo estable.

Por estas razones, se utiliza la densidad como parámetro definitorio de los niveles de servicio en los segmentos básicos de autopista. En la **TABLA 1** se muestran los valores de densidad para definir los distintos niveles de servicio (NS). En ella v/km/c significa vehículos/kilómetro/carril, que es la unidad en la que normalmente se expresa la densidad (número de vehículos que ocupan una longitud determinada de carril o carretera promediado en el tiempo) aunque también es posible expresarla en vehículos por kilómetro.

TABLA 1. VALORES DE DENSIDAD PARA DIFERENTES NIVELES DE SERVICIO

Nivel de Servicio	Densidad (v/km/c)
A	7
B	12
C	19
D	26
E	42
F	≥42

Estas cifras son los valores límite y representan las densidades máximas permitidas dentro del nivel de servicio correspondiente. El límite del NS-E de 42 v/km/c es el que generalmente se ha detectado como densidad crítica para la cual se produce en general la *capacidad*. Esto corresponde a una velocidad media de recorrido de 48 km/h y una capacidad de 2 000 v/h/c para velocidades de proyecto de 112 y 96 km/h.

1.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se inicia un nuevo problema (opción 1), después el programa pide datos para identificar la información (opción 2), como son datos referentes a la sección, analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información. Posteriormente (opción 3) se indica el tipo de terreno que se tiene, ya sea a nivel, ondulado, montañoso u alguna otra opción.

El siguiente menú (opción 4) es el referente a los datos de volumen, carriles, nivel de servicio y relación V/C. Después (opción 5) se alimentan los datos de factores de ajuste, donde se pide el tránsito típico que circula por la vía, % de camiones, autobuses y vehículos de recreo, velocidad de diseño, factor de hora pico, factor del conductor, ancho de carriles, si existen obstrucciones laterales y distancia desde la línea del pavimento hasta la obstrucción, o ancho de acotamiento.

La siguiente opción (opción 6) permite almacenar los datos del problema y finalmente la opción 7 da los resultados de los cálculos que se realizan con los datos que se han proporcionado.

1.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de segmento básico de autopista.

En segmento básico de autopista se analizó una sección. El Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) se obtuvo a partir de aforos realizados en la zona de estudio. Con los datos de entrada se obtiene un nivel de servicio C.

TDPA	PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad Km/h	Cond.
		Número	Ancho	Obstr.				
2850	0.95	3	3.60	0.30	5	2	113	1

TDPA : Transito Diario Promedio Anual

PHF Factor de Hora Pico

C camiones

B autobuses

Cond Factor del conductor

Analizando el comportamiento de la vía con estas características se deduce que el nivel de servicio es adecuado para el funcionamiento de la vialidad, ya que un nivel de servicio C proporciona operaciones en régimen estable, pero los flujos se aproximan al dominio en el cual pequeños incrementos en la intensidad ocasionan graves deterioros en el servicio. En este nivel de servicio el conductor puede empezar a experimentar un incremento notorio en la tensión debido a la necesidad de una vigilancia adicional para poder operar con seguridad. Aunque el nivel de servicio que se presenta se puede considerar como

bueno, es posible mejorar su funcionamiento. Una forma de evitar que el conductor empiece a experimentar un incremento en su tensión y que el nivel de servicio se empiece a deteriorar, inclusive se puede mejorar la circulación de la vialidad, es disminuyendo en las horas pico la presencia de vehículos pesados. Se realizó nuevamente el análisis evitando la entrada de autobuses a la vialidad y disminuyendo el acceso de camiones, esto propició una mejora en el nivel de servicio, obteniéndose un nivel de servicio B. De este modo se mejora el nivel de servicio y no se realiza ninguna inversión en la infraestructura. Este tipo de decisiones deben considerarse, ya que invertir en el mejoramiento de una vialidad es problemático y sí es posible desviar el tránsito pesado a las vialidades laterales.

Los datos con los que se obtiene una mejora en el nivel de servicio de C a B, fueron:

TDPA	PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad Km/h	Cond
		Número	Ancho	Obstr.				
2850	0.95	3	3.60	0.30	2	0	113	1

TDPA Tránsito Diario Promedio Anual

PHF Factor de Hora Pico

C . camiones

B . autobuses

Cond Factor del conductor

De los resultados que da el HCS, se observa que con el cambio de las condiciones, la velocidad se mantiene constante (57 mph), pero la densidad es menor al mejorar el nivel de servicio, esto quiere decir que el "gap" entre vehículos es mayor y además el conductor siente una mayor seguridad al manejar, así mismo, la relación volumen/capacidad (V/C) se mejora en el nivel de servicio B, reduciendo la posibilidad de llegar a la capacidad. Aunque es necesario cuidar el tránsito pesado para poder seguir manteniendo un nivel de servicio aceptable.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

ELEMENTO	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO B
Velocidad (mph)	57	57
Relación V/C	0.55	0.53
Densidad (p/m/l)	19	18

1.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1. Elija un segmento de autopista en la ciudad que usted conozca, con una longitud de 1 km a 2 km, realice el aforo de la vialidad en la hora pico con cortes cada 15 minutos. El aforo debe contemplar la composición vehicular, es decir, se debe considerar el volumen de vehículos particulares, de transporte público y de vehículos pesados que circulan por la vía en análisis. Mida la velocidad de la vialidad seleccionada, es recomendable conocer la velocidad de diseño de la misma, en caso contrario, se pueden considerar las proporcionadas por el Manual de Capacidad de Carreteras, que para autopistas considera una velocidad de diseño de 112 km/h.

En cuanto a la geometría de la vialidad, debe conocer los anchos de carril y si existen, de los acotamientos, así como las pendientes (%), con lo cual se incluye el tipo de terreno (ondulado, montañoso o llano).

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso del programa (I 3), imprima sus resultados

Si en los resultados obtiene que el nivel de servicio de la vialidad es E (capacidad) o cercano, es necesario realizar algunos ajustes a las condiciones de circulación actuales, éstos pueden ser:

- Prohibir que los vehículos pesados circulen por la vialidad durante la hora pico, en este sentido, es importante considerar que es posible realizar esta acción siempre y cuando el segmento básico de autopista objeto de análisis sea parte de una vía de acceso controlado
- Modificar la geometría de la vialidad: incrementar el número de carriles, incrementar el ancho de carriles, mejorar la nivelación del terreno, etc. Esta solución es aceptable cuando contamos con una vialidad con espacio suficiente para ampliar el área de ocupación de la vía, cabe considerar que esta alternativa implicará la necesidad de invertir en los cambios geométricos necesarios

Una vez que obtuvo el nivel de servicio de operación actual de la vialidad es necesario obtener la siguiente información

1. En caso de que la vialidad no se encuentre saturada, vida útil de la vialidad, es decir, obtener el volumen de saturación de la vialidad y con ello el período restante utilizable.
2. Investigar acciones adicionales de mejoramiento de servicio de la vialidad y realizar por lo menos 2 corridas más del programa con las soluciones propuestas para observar el comportamiento del nivel de servicio. Realizar una tabla comparativa de resultados.

Es necesario mencionar que algunas vialidades objeto de análisis que ya se encuentran en su capacidad o la rebasaron (NS F) ya no cuentan con una solución inmediata de bajo costo, tal es el caso de I periférico, viaducto y otras vías de la Ciudad de México en horas pico, las cuales ya no es posible ampliar por falta de espacio y la prohibición de la entrada de vehículos pesados ya no es suficiente para solucionar el problema, en este caso, se justifica la promoción de programas integrales de transporte, en los cuales se propicie el uso del transporte público, desmotivando la utilización excesiva del vehículo particular. En

general, se pueden proponer muchas soluciones para el mejoramiento de la operación de la infraestructura de transporte, como la implementación de tecnología (ITS), pero ¿cuál utilizaría usted?, genere sus alternativas.

- 2 Una autopista urbana de 6 carriles con velocidad de proyecto de 96 km/h soporta un volumen en hora punta por sentido de 3 750 v/h con un 7% de camiones y un FHP de 0.92. La autopista tiene carriles de 3.00 m, y acotamientos de 1.20 m y discurre por un terreno llano

Con la información anterior obtenga las corridas en la computadora de:

- a) Nivel de servicio actual de la vía
 - b) Propuestas de mejoramiento del nivel de servicio actual, por lo menos 2 (señale la acción que llevaría a cabo y alimente el programa).
 - c) Realice una tabla comparativa con los resultados anteriores y concluya
 - d) Determinación del volumen en el que se alcanza la capacidad de la vía y vida útil de la misma
- 3 Se quiere dimensionar una sección extensa de autopista discurrendo por terreno llano en zona urbana, para que opere en un NS B Se espera que la sección soporte un volumen horario de proyecto por sentido de 3 000 v/h, con 10% de camiones, 5% de autobuses, un FHP= 0.90.

Con esta información determine con la ayuda del HCS:

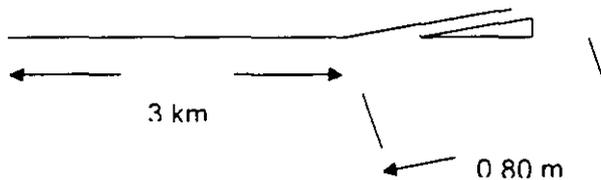
- a) Procedimiento para utilizar el software HCS
 - b) Número de carriles que debe tener la sección
 - c) Capacidad y vida útil de la vialidad
 - d) Cuadro comparativo de resultados y conclusiones
 - e) ¿Que pasaría si al principio de la sección de análisis se crea un centro de desarrollo importante que incrementa en un 2% la cantidad de vehiculos pesados circulando por la vía?. determine nuevamente el NS actual, el volumen con el que alcanzaria la capacidad y su vida útil. Compare con sus resultados anteriores, ¿es conveniente la generación de punto de desarrollo en la zona?. concluya.
- 4 Se tiene un tramo de autopista de 16 km que se quiere construir para unir dos puntos de desarrollo importantes, ya que actualmente existe una vialidad con problemas de capacidad que cubre la misma distancia. Se pretende que la nueva vialidad preste un nivel de servicio B en hora pico, la autopista tendrá un cuerpo de 6 carriles, discurre por terreno ondulado, tambien se sabe que en caso de construirse la vialidad, el 3% de caminos que circulan actualmente por la vialidad problemática circularía por la nueva vialidad.

Como informacion adicional, se obtuvo un aforo de 1 hora pico:

Tiempo (minutos)	Volumen (vehículos)
00.00-00:15	560
00:15-00:30	689
00.30-00 45	945
00.45-00 60	710

Con esta información, deduzca y compute:

- a) ¿ A qué volumen se le debe permitir el acceso a esta vialidad, considerando las condiciones anteriores?
 - b) Calcule el volumen con el que se llega a la capacidad, así como el tiempo en que la vialidad llegará a la misma
 - c) ¿Cree que el nivel de servicio B es adecuado para el diseño de la vía?, justifique su respuesta
- 5 Se tiene una vialidad con una las siguientes características:



Determine con la ayuda del HCS:

- a) Nivel de servicio actual de la vialidad completa, si la vialidad tiene 5 carriles por sentido, 2% de vehículos pesados, 1 % de autobuses, el conductor esta familiarizado con la vía, la velocidad de proyecto es de 96 km/h y el aforo en la hora pico obtenido es el que se presenta en el problema anterior.
 - b) En caso de requerirlo, mejore el nivel de servicio y realice la alimentación de la información, concluya y realice un cuadro comparativo
 - c) Determine el volumen de saturación de la vialidad y su vida útil
 - d) Compare el comportamiento de la vialidad, en caso de que discurriera por terreno completamente llano, ondulado y montañoso, compare sus resultados. ¿En qué tipo de terreno se comporta mejor el flujo vehicular?
- 6 Un segmento de una carretera rural de 6 carriles con una inclinación de la rasante de 6% y 6 km de longitud. Por sentido la vialidad soporta 1 340 v/h, con 10% de camiones y FHP de 0.91. El segmento cuenta con carriles de 3.30 m y con acotamiento de 0.60 m, la velocidad de proyecto es de 96 km/h, los conductores son del tipo habitual. Determine con el HCS:

- a) Comportamiento de la circulación en la rampa y antes de la rampa
- b) Mejoramiento del nivel de servicio en la rampa
- c) Obtención del volumen de saturación de la rampa y su vida útil

ÁREAS DE ENTRECRUZAMIENTO

II.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

El trenzado se define como el entrecruzamiento de dos o más corrientes de tránsito que circulan en el mismo sentido a lo largo de un tramo de longitud significativa de carretera, sin la intervención de instrumentos de control del tránsito. Las áreas de trenzado se forman cuando existe una zona de confluencia seguida de cerca por una de divergencia o cuando a un ramal de entrada le sigue de inmediato uno de salida, y ambos se unen mediante un carril auxiliar

Las zonas de trenzado requieren una gran intensidad de maniobras de cambio de carril, ya que los conductores deben acceder a los carriles adecuados al punto de salida que desean. Por ello, el tránsito en una zona de trenzado, se ve sometido a una turbulencia que excede a la normalmente presente en las secciones básicas de autopista.

Las zonas de trenzado pueden existir en cualquier tipo de carretera : autopistas, carreteras multicarril, de dos carriles, o arterias. Sin embargo, suelen darse con mayor frecuencia en los sistemas de autopistas, y la investigación más reciente se ha centrado en estas zonas de trenzado.

II.2 USO DEL PROGRAMA

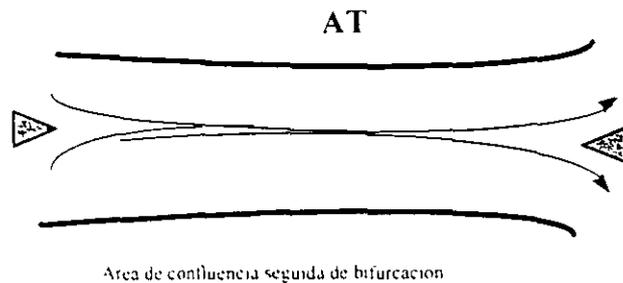
Al entrar a esta opción, primero se inicia un nuevo problema (opción 1), después el programa pide datos para identificar la información (opción 2), como son datos referentes a la sección, analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información. Posteriormente (opción 3) se indica el tipo de terreno que se tiene, ya sea a nivel, ondulado, montañoso o alguna otra opción

El siguiente menú (opción 4) es el referente a los datos característicos del entrecruzamiento, es decir al tipo de entrecruzamiento que se va a analizar (se puede ver en el Manual de Capacidad de Carreteras, 1985) número de carriles, longitud de la sección y número de carriles en el entrecruzamiento, dependiendo del tipo que sea. Después (opción 5) se alimentan los datos de volúmenes que pasan por el área de entrecruzamiento, así como los que no pasan por la misma. En la opción 6 se alimentan los factores de ajuste, es decir, los datos para la estimación de los factores de ajuste por % de camiones, autobuses y vehículos de recreo, velocidad de diseño, factor de hora pico, factor del conductor, ancho de carriles, si existen obstrucciones laterales y distancia desde la línea del pavimento hasta la obstrucción, o ancho de acotamiento.

La siguiente opción (opción 7) permite almacenar los datos del problema y finalmente la opción 8 da los resultados de los cálculos que se realizan con los datos que se han proporcionado

II.3 EJEMPLO

El ejemplo que se muestra es la determinación del nivel de servicio de un área de entrecruzamiento



Para el análisis del área de entrecruzamiento se eligió una zona donde se analizó la circulación de norte a sur, en la hora pico en esta zona se presentan conflictos que hacen problemático el entrecruzamiento. El TDPA se obtuvo a partir de aforos realizados en la zona de estudio. Con los datos de entrada se obtiene un nivel de servicio C en las vías que no pasan por el entrecruzamiento y en la zona de entrecruzamiento se obtuvo un nivel de servicio E. Estos resultados quieren decir que el funcionamiento en las arterias fuera del entrecruzamiento es relativamente adecuado, aunque es necesario cuidar algunos factores como tránsito pesado para evitar que el nivel de servicio empeore; en cuanto a la zona de entrecruzamiento, se puede observar que su funcionamiento se encuentra en la capacidad, por lo tanto, es necesario realizar mejoras para evitar que se presenten accidentes por contar con un nivel de servicio tan inestable. Los datos de entrada del proyecto son:

TDPA		PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad Km/h	Con d
F	W		Número	Ancho	Obstr.				
1850	530	0.95	4	3.60	0.30	5	3	113	1
1350	850								

TDPA : Tránsito Diario Promedio Anual

PHF : Factor de Hora Pico

C : camiones

B : autobuses

Cond : Factor del conductor

F : tránsito en la vía rápida

w : tránsito en el entrecruzamiento

Analizando el comportamiento de la vía con estas características se pueden plantear algunas alternativas de solución:

- a) Reducir el tránsito pesado, al analizar esta solución se observó que el nivel de servicio en el entrecruzamiento no mejoró, entonces reducir el tránsito pesado en este caso no mejora el nivel de servicio.
- b) Reducir los volúmenes que se presentan en el entrecruzamiento. Como los volúmenes que entran al área de entrecruzamiento provienen de la vía rápida, una forma de aliviar estos flujos es proporcionando al usuario de la vía una rampa tanto de entrada como de salida, con lo cual la incorporación de los vehículos a la vía rápida se da desde antes y no se presenta tanto conflicto en la zona de entrecruzamiento. Con estas mejoras se observó que el nivel de servicio (NS) en el entrecruzamiento mejora un poco a un nivel de servicio D. Si se quiere mejorar el nivel de servicio en ésta zona reduciendo aun más los volúmenes, entonces lo mejor sería eliminar el entrecruzamiento, ya que daría servicio a muy pocos vehículos
- c) Otra opción es aumentar el número de carriles, de tal modo que el entrecruzamiento se realice en forma más libre, con mayor área de desenvolvimiento de los vehículos, pero esto ocasiona necesariamente invertir en la vía.

Los datos con los que se obtiene una mejora en el nivel de servicio de E a D, fueron .

TDPA		PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad Km/h	Con d
F	W		Número	Ancho	Obstr.				
1850	300	0.95	4	3 60	0.30	5	2	113	1
1350	700		(

TDPA : Transito Diario Promedio Anual

PHF : Factor de Hora Pico

C : camiones

B : autobuses

Cond : Factor del conductor

F : tránsito en la vía rápida

w : transito en el entrecruzamiento

De los resultados que da el HCS, se observa que con el cambio de las condiciones, la velocidad mejora notablemente de una velocidad de 36 mph a 41 mph en el entrecruzamiento, es decir, que casi se mantiene constante la velocidad tanto en la vía rápida como en el entrecruzamiento, es decir, que la intensidad de los volúmenes es menor en el nivel de servicio D que en el E

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

ELEMENTO	ZONA DE LA VIALIDAD		ZONA DE LA VIALIDAD	
	F	W	F	W
Velocidad (mph)	48	36	48	41
VR	0.30	0.30	0.24	0.24
R	0.38	0.38	0.30	0.30
Nivel de Servicio	C	E	C	D

II.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

- 1 Seleccione un tramo de vialidad que conozca que se encuentre dentro de los límites para ser analizado como zona de entrecruzamiento, realice el aforo de la vialidad en la hora pico con cortes cada 15 minutos. El aforo debe contemplar la composición vehicular de la vialidad, es decir, la clasificación por tipo de vehículo que circule por la vía, ya sea particular, de transporte público o de carga. En el caso de entrecruzamientos es importante señalar que se debe medir el volumen con su respectiva composición vehicular de acuerdo a los movimientos direccionales que se presenten (entrecruzamientos y movimientos de frente), esta observación incluirá la obtención del tipo de entrecruzamiento. Asimismo, mida la velocidad de circulación de la vialidad, tanto para la zona de entrecruzamiento como para la de no entrecruzamiento. Cabe señalar que estas velocidades servirán para compararlas con las obtenidas en gabinete

En cuanto a la geometría de la sección es necesario conocer ancho (s) y número de carriles, pendientes (%), tipo de terreno, anchos de acotamiento (si existen), longitud del entrecruzamiento

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (II.2), imprima sus resultados

De este problema se requiere

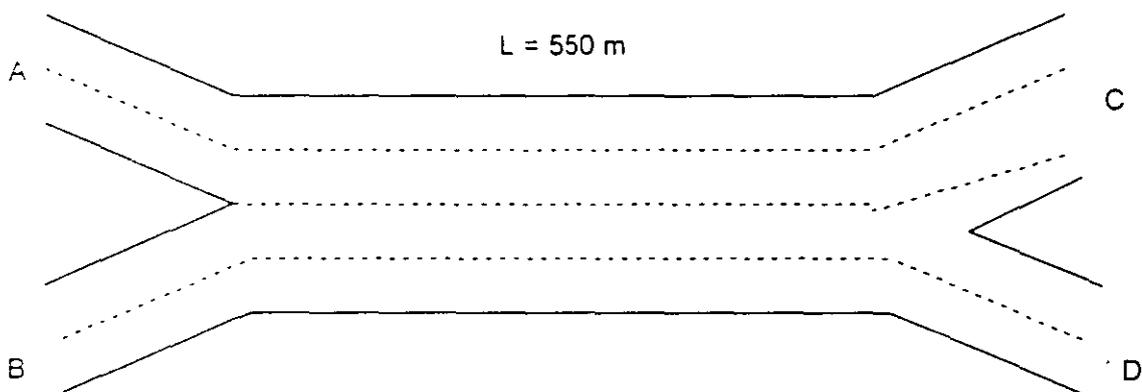
- a) Determinación del nivel de servicio de operación actual de la zona de entrecruzamiento y de no entrecruzamiento
- b) Soluciones para el mejoramiento de la operación, en caso de encontrarse en su capacidad o cerca de la misma, así como su correspondientes corridas en computadora
- c) En caso de que la vialidad no funcione en su capacidad, determinación del volumen de saturación, así como la vida útil de la misma
- d) Mida el flujo vehicular que se presenta aguas arriba (en caso de que sea un segmento básico de autopista) del entrecruzamiento y analícelo con el procedimiento explicado en el apartado I. Dibuje el cambio de niveles de servicio en cada una de las secciones y realice una tabla resumen. Concluya.
- e) ¿Con qué valores la sección presenta un comportamiento restringido?

- 2 La siguiente vialidad soporta los volúmenes de tránsito de la tabla 1. Determine los siguientes puntos con la ayuda del HCS
- Nivel de servicio de la vialidad
 - Mejoramiento del nivel de servicio de la sección
 - Funcionamiento del segmento básico de autopista precedente a la zona de entrecruzamiento y dibujo resumen de resultados
 - Determinación de la capacidad de la vialidad y vida útil de la misma

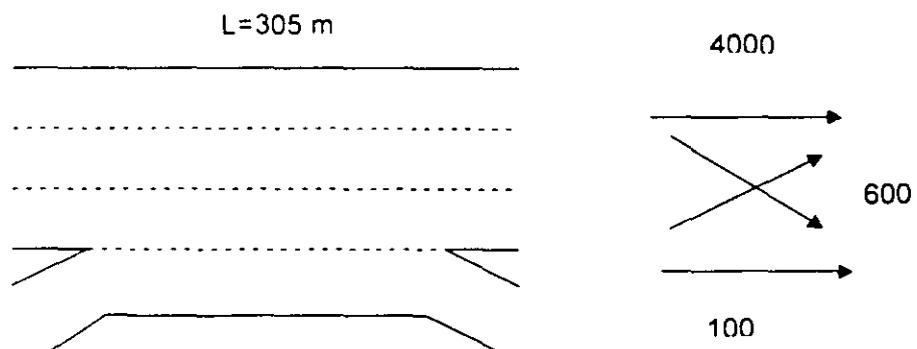
TABLA 1

<i>Dirección del flujo</i>	<i>Volumen (v/h)</i>
A-C	1 610
A-D	735
B-C	940
B-D	1 107

5% camiones
 2% autobuses
 FHP=0.91
 Terreno llano



- 3 Se tiene la siguiente sección:

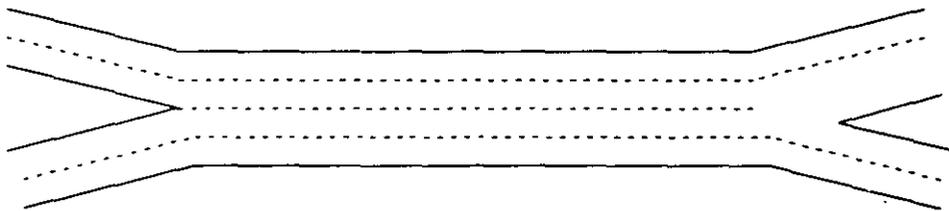


La sección discurre por terreno llano, su ancho de carril es de 3.60 m, no existen obstrucciones laterales y los volúmenes se encuentran expresados en vehículos ligeros a la hora

Analice los siguientes resultados del HCS:

- a) Nivel de servicio de la sección
 - b) Mejoramiento del comportamiento de la circulación de la sección
 - c) Determinación del volumen de saturación de la vialidad y su vida útil
 - d) Dibujo comparativo de los niveles de servicio en el segmento básico de autopista precedente y de la zona de entrecruzamiento, así como los resultados del HCS.
 - e) Determine los valores con los que la sección se vuelve restringida
4. Investigue si en su ciudad existen entrecruzamientos múltiples, afore los volúmenes vehiculares, obtenga la información de geometría de la sección y alimente con la información el HCS. ¿qué módulo utilizaría? Imprima los resultados de situación actual del entrecruzamiento, mejore su comportamiento (en caso de que se requiera), determine su vida útil y capacidad Determine los valores con los que la sección se comporta en régimen restringido.

5 El área de trenzado soporta los siguientes volúmenes de tránsito:



A-C= 1 815 v/h

A-D= 692 v/h

7% camiones
FHP = 0.91
Terreno llano

Con la ayuda del HCS, determine:

- a) Situación actual de la zona de entrecruzamiento y de no entrecruzamiento
- b) Situación actual del segmento básico de autopista precedente al entrecruzamiento
- c) Dibujo resumen de situación actual de la sección completa
- d) Mejoramiento de niveles de servicio (velocidades) en las 3 secciones analizadas (por lo menos 2 opciones de solución), concluya
- e) Capacidad de las 3 secciones y vida útil
- f) ¿Con qué valores la sección se convierte en restringida?, imprima sus resultados

III. RAMPAS E INTERSECCIONES DE RAMPAS

III.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un ramal puede definirse como un tramo de calzada con la función exclusiva de proporcionar una conexión entre dos carreteras.

Un ramal se compone de tres elementos geométricos básicos:

1. La intersección ramal-autopista
2. El tronco del ramal
3. La intersección ramal-calle

Una intersección ramal-autopista se proyecta generalmente para que los movimientos de confluencia o bifurcación a alta velocidad interfieran mínimamente la circulación de un carril adyacente de la autopista. Las características geométricas de las intersecciones ramal-autopista son variables. Ciertos elementos tales como la posible existencia de carriles de aceleración/desaceleración, su longitud, el ángulo de convergencia o divergencia, la pendiente relativa entre la autopista y el ramal, y otros varios pueden afectar al funcionamiento del ramal.

Una intersección ramal-autopista es una zona donde se produce una competencia por el espacio entre dos circulaciones. La demanda de la autopista corriente arriba a la zona de confluencia entra en competencia con la demanda del tránsito del ramal de acceso. Generalmente la demanda del ramal de acceso se genera localmente, si bien las calles colectoras y arteriales pueden atraer al ramal vehículos de orígenes más alejados. El flujo de una autopista corriente arriba del ramal está compuesto por demandas de una gran variedad de orígenes situados corriente arriba.

En la zona de confluencia, los vehículos del ramal de acceso tratan de encontrar agujeros, o "intervalos" huecos en la corriente circulatoria del carril adyacente de la autopista. Puesto que la mayoría de los ramales se encuentran en el lado derecho de la vía, el carril de la autopista más directamente afectado es el derecho, designándole aquí como carril 1.

A medida que el flujo del ramal de acceso aumenta, los vehículos que entran afectan a la distribución del tránsito entre los carriles de la autopista puesto que la circulación cambia de carril para evitar la turbulencia y los conflictos en la zona de confluencia. Es una situación dinámica con interacción entre los flujos, influyendo la circulación del ramal de acceso de manera importante en la operación del conjunto.

Un ramal funcionará en forma eficaz cuando se proyecten correctamente todos sus elementos, las intersecciones con las autopistas y/o las calles y su tronco. Es importante destacar que un fallo de cualquiera de estos elementos, provoca un efecto negativo en la circulación de la totalidad del ramal. Lo que es más grave puede también extenderse y afectar a las vías que conecta.

III.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se inicia un nuevo problema (opción 1), después el programa pide datos para identificar la información (opción 2), como son datos referentes a la sección, analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información.

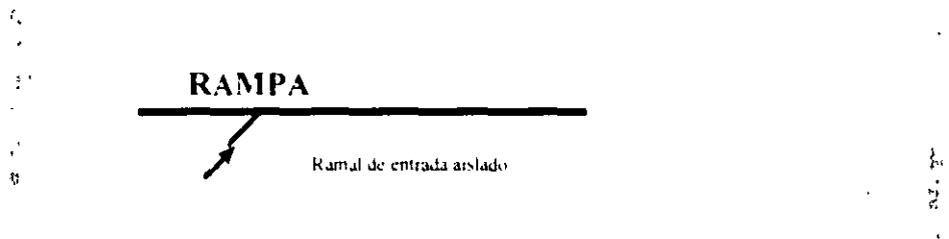
Posteriormente (opción 3) se indica el tipo de rampa por analizar (definidas en el Manual de Capacidad de Carreteras, 1985).

En el siguiente menú (opción 4) se introducen los datos relativos al tipo de terreno en el que se encuentra la vialidad. Después (opción 5) se alimentan los datos de volúmenes que pasan por la vía rápida, así como el volumen de la rampa. En la opción 6 se alimentan los factores de ajuste y carriles, es decir, los datos para la estimación de los factores de ajuste por % de camiones en la vía rápida, factor de hora pico, % de camiones en la rampa, número de carriles en la vía rápida y velocidad de diseño.

La siguiente opción (opción 7) permite almacenar los datos del problema y finalmente la opción 8 da los resultados de los cálculos que se realizan con los datos que se han proporcionado.

III.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación :



Para el análisis del área de la rampa se eligió una zona con una rampa de entrada con un carril de acceso. Se consideró el mismo TDPA del segmento básico de autopista, ya que es una continuación de dicha vía y este se obtuvo a partir de una aproximación del tránsito que pasa por la vía. Con los datos de entrada se obtiene un nivel de servicio C en la vía rápida y en la rampa. Para mejorar el funcionamiento de la rampa se prohibió la entrada de camiones por la rampa en las horas pico, para evitar congestionamientos, ya que en esta zona en las horas pico la cola que se forma en la rampa tiene una longitud aproximada de 7 vehículos, de los cuales la mayor parte son vehículos pesados, y también se redujo el porcentaje de vehículos en la vía rápida a 2%, esta solución mejora el nivel de servicio de la rampa de C a B.

Los datos de entrada del proyecto fueron :

TDPA		PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad Km/h	Con d
F	R		Número	Ancho	Obstr.				
2850	600	0.95	3	3.60	0.30	5	3	113	1

TDPA Tránsito Diario Promedio Anual

PHF . Factor de Hora Pico

C : camiones

B : autobuses

Cond : Factor del conductor

F : tránsito en la vía rápida

R : tránsito en la rampa

Se puede mejorar el nivel de servicio ampliando la rampa a 2 carriles, pero esto requiere invertir en infraestructura, pero antes se observa que adecuando el % de vehiculos pesados en la via se mejora notablemente el funcionamiento de la rampa.

Asimismo, se reduce el tránsito por la rampa de 600 a 300, implementando una rampa aguas arriba de esta zona, con lo cual el tránsito se distribuye en una forma más homogénea.

Los datos con los que se obtiene una mejora en el nivel de servicio de C a B, fueron

TDPA		PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad Km/h	Con d
F	R		Número	Ancho	Obstr.				
2850	300	0.95	3	3 60	0 30	2	0	113	1

TDPA : Transito Diario Promedio Anual

PHF . Factor de Hora Pico

C . camiones

B . autobuses

Cond : Factor del conductor

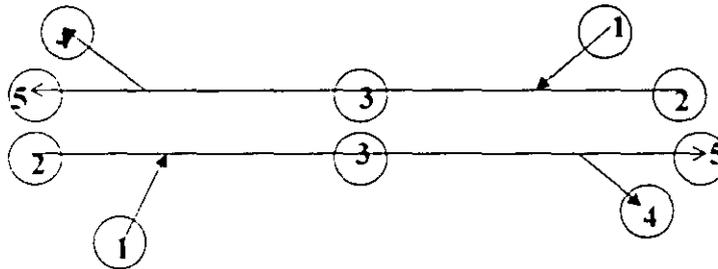
F : tránsito en la vía rápida

R : tránsito en la rampa

De los resultados que da el HCS, se observa que con el cambio de las condiciones, los volúmenes de la vía rápida y de la rampa se reducen notablemente, además esto implica que los vehiculos pueden circular a una mayor velocidad y que el "gap" es también mayor, lo cual reduce la cantidad de accidentes.

III.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

- 1 Elija un segmento que incluya una incorporación y/o salida de volumen vehicular a/de la vía principal, tal caso puede ser una incorporación de la lateral de periférico hacia el cuerpo principal, por ejemplo Realice el aforo de las vialidades seleccionadas, tanto del cuerpo principal como de la incorporación y/o bifurcación, durante la hora pico con cortes cada 15 minutos, así como con su correspondiente composición vehicular. También se requiere medir las velocidades de ambas secciones.



Por lo tanto, las zonas por aforar serán como lo muestra el siguiente diagrama:

En este sentido, es importante mencionar que los análisis realizados hasta este momento son por sentido, por lo cual, se deberá seleccionar el diagrama que corresponda al sentido elegido. Por lo tanto, en secciones de rampa se requieren por lo menos 5 puntos de aforo, en el caso de tener una sección con zonas de confluencia y bifurcación, obviamente, en el caso de solo acceso o salida se tendrán 3 puntos de aforo.

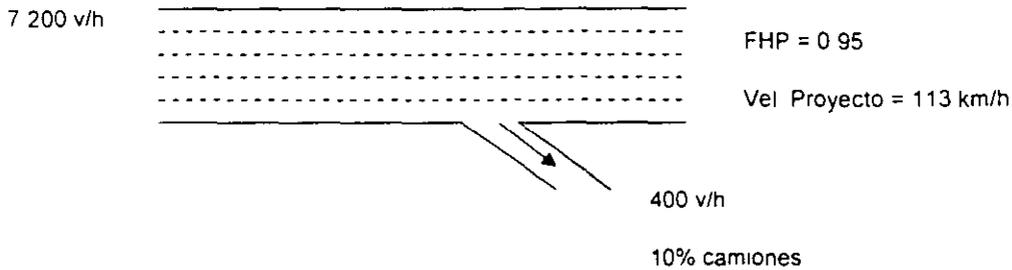
En cuanto a la geometría de las vialidades, se debe conocer los anchos de carril, número de carriles, pendientes (%), tipo de terreno, diseño de la sección y/o secciones, es recomendable dibujar un croquis con la sección que se eligió, ya que este diagrama permitirá precisar el comportamiento de la sección.

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (III 2), imprima sus resultados.

Los resultados que se requiere obtener del programa son:

- a) Situación actual de la vialidad en la(s) zona(s) de bifurcación y/o confluencia
- b) Mejoramiento del comportamiento de las secciones, al menos compute 2 soluciones y concluya
- c) Cálculo del volumen de saturación de las vialidades y vida útil.

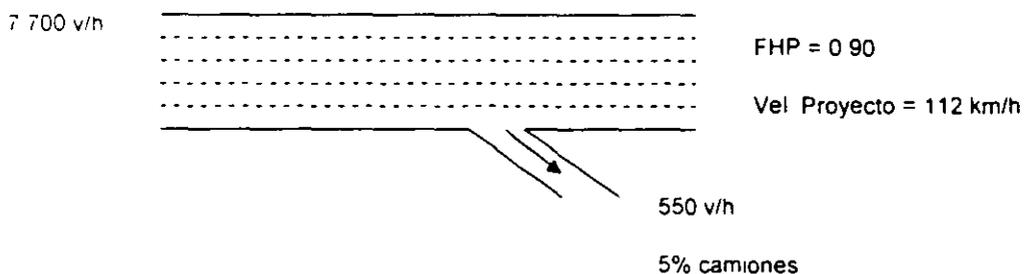
- 2 El siguiente ramal de salida se halla en un segmento de autopista urbana de 5 carriles. No se encuentra dentro de la zona de influencia de ningún otro ramal adyacente:



Con la ayuda del HCS obtenga:

- Nivel de servicio de la circulación
 - Mejoramiento del nivel de servicio en ambas secciones (2 opciones de solución al menos)
 - Si el volumen sufre un 5% de incremento anual, ¿cuál será la vida útil de la vialidad y el volumen de saturación de la misma?
3. Seleccione en su ciudad un trébol (gasa) con zona de incorporación y salida del flujo vehicular para analizar el comportamiento de los 4 brazos de la vialidad, realice los aforos correspondientes, basándose en el diagrama anteriormente descrito, también obtenga la información de geometría de la vialidad y compute su información de campo. Concluya.
- Niveles de servicio de operación actual de las cuatro rampas, dibuje en un diagrama sus resultados
 - Mejoramiento del comportamiento de las secciones (por lo menos 2 soluciones)
 - En caso de que cerrara uno de los accesos o de las bifurcaciones, ¿cómo se comportaría el flujo vehicular?, concluya
 - Determine la vida útil del trébol (gasa) y su volumen de saturación.
 - Los 4 brazos de la vialidad presentan el mismo comportamiento en la hora pico seleccionada, ¿en qué varían?

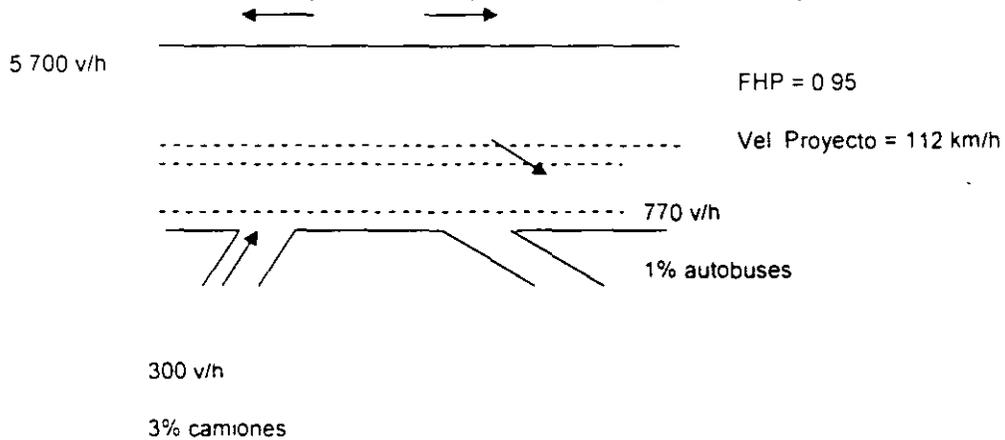
- 4 De la vialidad con la siguiente configuración obtenga con la ayuda del HCS:



- Situación actual de las secciones

- b) Mejoramiento del comportamiento de las secciones (al menos 2 soluciones)
- c) Determinación del volumen de saturación de las vialidades y vida útil de las mismas

5. De la vialidad con la siguiente configuración obtenga con la ayuda del HCS:



- a) Situación actual de las secciones
- b) Mejoramiento del comportamiento de las secciones (al menos 2 soluciones)
- c) Determinación del volumen de saturación de las vialidades y vida útil de las mismas
- d) Si incrementa la distancia de las rampas 300 m más ¿qué comportamiento se presenta?, ¿si la reduce 100 m?, ¿qué factor determinaría usted como el más importante para conocer la distancia ideal entre rampas?

IV. CARRETERAS MULTICARRILES

IV.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

El análisis de las carreteras multicarril varía del de las autopistas por que las primeras no cuentan con separación de sentidos o carecen de un control total de accesos, o ambas cosas. Estas carreteras están presentes en una gran variedad de emplazamientos, desde los entornos rurales típicos con densidades bajas a las zonas suburbanas, donde la densidad del desarrollo urbano es mayor, y en las que también aumenta la fricción vehicular originada entre otras razones por los movimientos de giro de los vehículos.

Las carreteras multicarril operan en régimen libre entre los puntos donde se producen las interrupciones predeterminadas de la circulación. Dicho régimen, sin embargo, no es tan eficaz como es el caso de las autopistas, debido a las distintas fuentes de fricción, que se presentan en este tipo de vías, tales como

1. Los vehículos se incorporan y abandonan la calzada para acceder a las plazas de estacionamiento, a otras vías, a intersecciones sin semáforos y a otros puntos; estos movimientos pueden implicar movimientos de giro a la derecha o a la izquierda, produciendo los últimos un impacto negativo mucho mayor sobre el flujo.
2. En las carreteras multicarril sin separación de sentidos, la fricción que ocasionan los vehículos del sentido contrario también provoca un efecto negativo sobre el flujo; impacto que desaparece en las carreteras multicarril con separación de sentidos.
3. El impacto visual del desarrollo urbano circundante con fachada a la carretera influye en el comportamiento del conductor y contribuye a que aquélla sea menos eficaz que las autopistas de características similares

El nivel de estas interferencias varía ampliamente en función del desarrollo urbanístico de la zona a la que da servicio la carretera multicarril. Los factores que determinan el grado de dichas interferencias son el tipo y densidad del uso del suelo a lo largo de la calzada.

IV.2 USO DEL PROGRAMA

La pantalla correspondiente al análisis de carreteras multicarriles se diferencia de los tópicos que analiza el HCS, en la presentación de las pantallas de datos, ya que es un poco más dinámica. La estructura de la pantalla cuenta con ventanas de archivo, edición, correr, ver, opciones, salir y de ayuda.

Para empezar a alimentar los datos de un problema es necesario iniciar con el menú de edición, donde se da la información referente al tipo de terreno y al tránsito de la vía, que son los únicos datos que pide, ya que cuando se entra a la opción de "run", se calcula inmediatamente el nivel de servicio de la vía y los parámetros de ajuste empleados. En la opción de "view" se ve el resultado de los cálculos realizados con "run", los factores de ajuste y es posible imprimir los resultados, finalmente con "quit" se sale de la opción de análisis de carreteras multicarriles.

IV.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación :

Considérese un tramo de carretera multicarril con las siguientes características :

VOLUMEN (VPH)		PHF	Carriles			Tipo de División	Velocidad mph	Longitud
D1	D2		Número	Obstr.	%C			
1000	1200	0.90	3	d1 : 6 ft d2 : 4 ft	d1 : 1% d2 : 2%	D	45	1400

TDPA : Tránsito Diario Promedio Anual

PHF : Factor de Hora Pico

C : vehiculos pesados

TIPO DE TERRENO

DIRECCIÓN 1			DIRECCIÓN 2		
Segmento	Longitud	Pendiente	Segmento	Longitud	Pendiente
1	500.00	2.00	1	600.00	3.00
2	300.00	1.00	2	300.00	-1.00
3	600.00	-3.00	3	500.00	-2.00

El nivel de servicio que se obtiene del análisis de la vía es A, lo cual significa que el funcionamiento de la vía se da en condiciones favorables, es necesario mantener la vía en este funcionamiento, implementando medidas de mantenimiento frecuentes, así como evitar que incremente el tránsito pesado por la vía

IV.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1. Elija una vialidad que en la zona circundante a su ciudad cumpla con las condiciones para ser analizada como carretera multicarril en un medio rural o suburbano, elija un segmento de 1 a 2 km para observar su comportamiento, realice el aforo de la vialidad en la hora pico con cortes cada 15 minutos. El aforo debe contemplar la composición vehicular, es decir, se debe considerar el volumen de vehículos particulares, de transporte público y de vehículos pesados que utilizan la sección. También mida la velocidad de la vialidad seleccionada y determine (según los criterios del Manual de Capacidad de Carreteras) la de diseño

En cuanto a la geometría, debe considerarse la información relacionada con el número de carriles, entorno de la vialidad, anchos de carriles y si existen, de los acotamientos, así como las pendientes (%), con lo cual se incluye el tipo de terreno (ondulado, montañoso o llano).

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (IV. 2), imprima sus resultados.

Con la información anterior obtenga los siguientes resultados de la computadora:

- a) Nivel de servicio actual de la vía
 - b) Propuestas de mejoramiento del nivel de servicio actual, por lo menos 2 (señale las acciones que llevaría a cabo y alimente el programa)
 - c) Realice una tabla comparativa con los resultados anteriores y escriba sus conclusiones
 - d) Determinación del volumen en el que se alcanza la capacidad de la vía y vida útil de la misma
 - e) Determine un nuevo nivel de servicio, considerando que la vialidad incrementa sus volúmenes en un 5%. Nuevamente mejore las condiciones de operación de la vía y realice sus conclusiones
2. Se tiene un tramo de 5.23 km en una carretera de una sola calzada sobre terreno llano que tiene una velocidad libre de 74 km/h aforada con una intensidad de 1.000 a/h/c. A una distancia de 1.829 m de uno de sus extremos existe un segmento de 975 m con una inclinación del 2.5%. Existen 14 entradas a propiedades a cada lado de la carretera en el segmento de 975 m y aproximadamente 13 carreteras de entrada por kilómetro a lo largo del resto del tramo. La sección transversal de la carretera completa se compone de cuatro carriles de 3.30 m con un arcén de 1.20 m a cada lado. El volumen de tránsito en la hora punta vespertina es 1,900 vehículos por hora en cada dirección con un 8% de camiones, 3% de autobuses, y 2% de VRs. El factor de hora punta es 0.90.

Determine la velocidad media de recorrido de los vehículos ligeros, la densidad del tránsito y el nivel de servicio para cada sentido ¿Existe alguna zona con problemas?

Con la ayuda del HCS determine.

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Flujo de saturación de la carretera
- c) ¿Cuál de los dos sentidos presente mayores problemas? ¿qué propone para solucionarlos?, solucione con el HCS

d) Vida útil de la vialidad

3. Se tiene una carretera multicarril en dirección este-oeste con sección transversal de cinco carriles y compuesta de dos carriles en cada dirección separados por un carril de dos sentidos para giro a la izquierda (CGI). Las anchuras de carril son de 3.60 m y existe suficiente despeje lateral en cada lado de la carretera. El área a estudiar es de aproximadamente 3.2 km de largo y contiene una rampa en dirección oeste de 1,829 m y un 4% de inclinación, seguida de un tramo en llano de 1,524 m. El tramo tiene un volumen de 1,500 v/h en cada dirección con un 4% de camiones y un 2% de autobuses. La parte norte de la carretera tiene 27 puntos de acceso distribuidos uniformemente a lo largo de todo el tramo a aproximadamente 122 m uno de otro. La parte sur tiene solo 10 puntos de acceso, localizados todos en el tramo en llano. Existen datos sobre las velocidades de recorrido actuales a lo largo de la carretera. El percentil 85 de velocidad de los vehículos ligeros en la rampa (dirección oeste) es 77.2 km/h y 86.88 en la pendiente (dirección este). En el tramo a nivel, el percentil 85 de la velocidad es 83.66 km/h para ambas direcciones. El FHP es 0.90.

Determinar el nivel de servicio de la zona estudiada y mejorarlo en caso de ser necesario, proponga al menos tres soluciones, compútelas y escriba sus conclusiones. También calcule el flujo de saturación de la vía y su vida útil.

4. Se desea diseñar un tramo de 3.2 km de una carretera multicarril para que soporte un volumen de tránsito medio diario de 60,000 vehículos con un NS D. En base a los datos locales de otras carreteras multicarril, el volumen de la hora de proyecto debe ser del 10% con un reparto 55/45 un FHP de 0.9 y un 5% de camiones.

Se espera que la carretera tenga un límite de velocidad de 80.4 km/h, aproximadamente 6.2 puntos de acceso por km y que discorra por un terreno ondulado. La sección de terreno expropiado tiene una anchura de 27.4 m.

Determinar la sección transversal a proporcionar para satisfacer las exigencias de proyecto y encontrar la velocidad de recorrido esperada para los vehículos ligeros de esta carretera

Con la ayuda del HCS determine:

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Flujo de saturación de la carretera
- c) ¿Cuál de los dos sentidos presente mayores problemas? ¿qué propone para solucionarlos?, solución con el HCS
- d) Vida útil de la vialidad

5. El objeto de un programa de rehabilitación dirigido a la mejora de las operaciones de tránsito es una carretera de seis carriles que discurre por una zona urbana. Un tramo de 4.02 km situado en un terreno llano tiene intersecciones semaforizadas en cada uno de sus extremos y un semáforo en el centro. Este último semáforo está siendo reemplazado mediante una vía a distinto nivel en el mismo lugar. La intensidad actual de la hora punta es 1,400 a/h/c, y el tiempo medio de recorrido actual de este tramo es de 3.0 min. El acceso a nivel a esta carretera solo puede realizarse en las

intersecciones semaforizadas. La carretera actual tiene carriles de 3.30 m separados por una mediana elevada de 4.88 m. Los arcenes a cada lado de la carretera son de 1.20 m

Determinar la velocidad de recorrido esperada en la carretera mejorada cuando se haya realizado la separación en dos niveles ¿Cuánto tránsito adicional puede añadirse manteniendo el nivel de servicio mejorado?

También, con la ayuda del HCS determine

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Flujo de saturación de la carretera
- c) ¿Cuál de los dos sentidos presente mayores problemas? ¿qué propone para solucionarlos?, solución con el HCS
- d) Vida útil de la vialidad

6. Se va a crear un nuevo corredor en los suburbios de un área metropolitana. La carretera se va a construir aproximadamente dentro de 10 años. Las previsiones del tránsito futuro indican que la carretera debería diseñarse para soportar 42,000 vehículos por día con un 5 al 10% de camiones. Actualmente se espera que el corredor tendrá unas condiciones de proyecto ideales discurriendo por terreno ondulado. En base a otras carreteras multicarriles similares se espera que la velocidad libre de esta carretera sea de 80.5 km/h.

Determinar el número de carriles necesarios para que opere en el NS C. Una vez que determinó el número de carriles, con la ayuda del HCS, calcule:

- a) Flujo de saturación de la carretera
- b) ¿Cuál de los dos sentidos presente mayores problemas? ¿qué propone para solucionarlos?, solución con el HCS
- c) Vida útil de la vialidad

V. CARRETERAS DE DOS CARRILES

V.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una carretera de dos carriles puede definirse como una calzada que tiene un carril para cada sentido de la circulación. El adelantamiento a vehículos más lentos requiere utilizar el carril del sentido opuesto siempre que la distancia de visibilidad y los intervalos de la circulación en sentido opuesto lo permitan. A medida que aumentan la intensidad de circulación y/o las restricciones geométricas, disminuye la posibilidad de adelantar, dando lugar a la formación de columnas en la circulación. Los conductores están sujetos a demoras en estas columnas, debido a la imposibilidad de adelantar.

Las carreteras de dos carriles representan el mayor kilometraje de las redes nacionales de carreteras. Se usan para una variedad de funciones en todas las áreas geográficas y satisfacen una amplia gama de necesidades de la circulación. Las consideraciones sobre la calidad de su funcionamiento deben contemplar simultáneamente toda esta disparidad de cometidos.

La función principal de las carreteras importantes de dos carriles, utilizadas como arterias primarias que conectan núcleos generadores de tráfico, o como conexiones primarias en las redes de carreteras nacional y estatal, es proporcionar una movilidad eficiente. Estas carreteras tratan de satisfacer viajes de larga distancia, comerciales y de recreo, y pueden tener tramos de muchos kilómetros a través del medio rural, sin interrupciones debidas al control de la circulación. Para estas carreteras son deseables el mantenimiento sostenido de altas velocidades y escasas demoras por adelantamientos.

Muchas carreteras rurales pavimentadas de dos carriles cumplen básicamente una función de accesibilidad. Proporcionan acceso, en cualquier condición atmosférica, a una zona; frecuentemente con bajos volúmenes de circulación. La principal consideración a tener en cuenta consiste en proporcionar accesibilidad a un coste razonable. La alta velocidad no es la característica esencial, aunque sea beneficiosa. La demora, manifestada por la formación de columnas, y la utilización de la capacidad son las medidas más representativas de la calidad del servicio.

Las carreteras de dos carriles sirven también como zonas panorámicas y de recreo donde debe contemplarse y disfrutarse del paisaje sin interrupción del tránsito y sin demoras. Es de desear una carretera segura, pero ni se espera ni se desea la circulación a alta velocidad.

Pequeños tramos de carretera de dos carriles con altos volúmenes de circulación sirven a veces de conexión entre dos carreteras multicarril o entre centros urbanos. Las condiciones de circulación para estos tramos cortos suelen ser mejores de lo que cabría esperar para tramos más largos, y las expectativas de los conductores respecto a la calidad del servicio son normalmente mejores que para los tramos largos.

Por estas razones en las carreteras de dos carriles se utilizan tres parámetros para describir la calidad del servicio:

1. Velocidad media de recorrido
2. Porcentaje de demora en tiempo
3. Utilización de la capacidad

La velocidad media de recorrido representa la movilidad de las carreteras de dos carriles y se define como la longitud del segmento de carretera que se considera, dividida por el tiempo medio de recorrido de todos los vehículos que recorren el segmento en ambos sentidos durante un determinado lapso de tiempo.

El porcentaje de demora en tiempo representa ambas funciones de movilidad y accesibilidad, y se define como el valor medio del porcentaje de demora en tiempo que sufren todos los vehículos al viajar en columnas como consecuencia de la imposibilidad de adelantar.

La utilización de la capacidad representa la función de accesibilidad y se define como la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad de la carretera.

Los criterios que definen el nivel de servicio utilizan los tres parámetros anteriores, considerándose el porcentaje de demora en tiempo como la medida esencial de la calidad del servicio. La velocidad y la utilización de la capacidad se consideran medidas secundarias.

V.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se inicia un nuevo problema (opción 1), después el programa pide datos para identificar la información (opción 2), como son datos referentes a la sección, analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información. Posteriormente (opción 3) se indica el tipo de terreno que se tiene, ya sea a nivel, ondulado, montañoso u alguna otra opción.

El siguiente menú (opción 4) es el referente a los datos característicos de las carreteras de dos carriles, como son el porcentaje de zonas de no paso y el volumen en vehículos por hora. En la opción 5 se alimentan los factores de ajuste, es decir, los datos para la estimación de los factores de ajuste por % de camiones, autobuses y vehículos de recreo, velocidad de diseño, factor de hora pico, distribución direccional, ancho de carriles y ancho de acotamiento.

La siguiente opción (opción 6) permite almacenar los datos del problema y finalmente la opción 7 da los resultados de los cálculos que se realizan con los datos que se han proporcionado.

V.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación :

Se tiene una carretera de dos carriles con las siguientes características :

TDPA	PHF	Carriles			% C	%B	Velocidad mph	DD
		% zonas de no rebase	Ancho	Obstr.				
1000	1	50	12	6	5	4	60	50/50

TDPA : Tránsito Diario Promedio Anual

PHF : Factor de Hora Pico

C camiones

B autobuses

DD : distribución direccional

Con estos datos el nivel de servicio obtenido es D, es decir, el funcionamiento de la vía se encuentra cerca de la capacidad, por lo cual es necesario realizar mejoras para evitar la saturación de la vía y en la medida de lo posible mejorar el nivel de servicio. En este caso es posible disminuir el porcentaje de vehículos pesados, inclusive el mismo programa indica los flujos de servicio necesarios para mejorar el nivel de servicio y obtener hasta un NS A.

V.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

- 1 Elija un segmento de carretera de dos carriles en algún lugar del área conurbada de su ciudad, con una longitud de 1 km a 2 km, realice el aforo de la vialidad en la hora pico con cortes cada 15 minutos, recuerde que en este caso el análisis se realiza por cuerpo de vialidad, por lo tanto, debe aforar en los dos sentidos de circulación, ya que con dicha información obtendrá el reparto por sentidos. El aforo debe contemplar la composición vehicular, es decir, se debe considerar el volumen de vehículos de uso particular, de transporte público y de carga (vehículos pesados) que utilizan el segmento por analizar. Asimismo, mida las velocidades por sentido, es recomendable investigar la velocidad de diseño de la vialidad, en caso contrario, emplee las recomendadas por los criterios del Manual de Capacidad de Carreteras

En cuanto a la geometría, debe conocer los anchos de carril y acotamiento (en caso de que existan), así como las pendientes (%), con lo cual se incluye el tipo de terreno (ondulado, montañoso o llano), así como el porcentaje de tramos sin posibilidad de rebase.

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (V 2) e imprima sus resultados.

Obtenga con la ayuda del HCS la siguiente información:

- a) Nivel de servicio de la vialidad
- b) Propuestas de mejoramiento del nivel de servicio actual, por lo menos 3 (señale las acciones que llevaría a cabo y compútelas)
- c) Elabore una tabla comparativa de sus resultados y concluya
- d) Determine la capacidad de la vía y su vida útil
- e) En caso de que la vialidad que está estudiando tenga una demanda repentina por la presencia de un desarrollo comercial, incrementando sus volúmenes en un 10%, ¿cómo funcionaría? y su vida útil a cuánto correspondería.

2. Una carretera rural de dos carriles soporta un volumen horario punta de 300 v/h, y tiene las siguientes características:
- a. *CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.* Velocidad de proyecto 96 km/h, carriles de 3.60 m, acotamientos de 1.20 m, terreno ondulado, 60% tramos sin posibilidad de adelantamiento, longitud 15 km
 - b. *CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.* Reparto por sentido 70/30, 5% autobuses.

Alimente el HCS con su información y determine:

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Mejoramiento del nivel de servicio
- c) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- d) ¿Cómo se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- e) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

3. Una carretera rural de dos carriles soporta un volumen horario punta de 230 v/h, con las siguientes características:

- a. *CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA* Velocidad de proyecto 96 km/h, carriles de 3.00 m, arcenes de 1.20 m, terreno ondulado, 70% de tramos sin posibilidad de adelantamiento, longitud = 18 km
- b. *CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.* Reparto por sentido 80/20, 20% camiones, 5% autobuses

Con la ayuda del HCS con su información y determine:

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Mejoramiento del nivel de servicio
- c) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- d) ¿Cómo se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- e) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

4. Se espera que un segmento de una carretera rural de dos carriles tenga las siguientes características.

- a. *CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.* Velocidad de proyecto de 112 km/h, carriles de 3.60 m, acotamientos pavimentados de 3.00 m, terreno llano, 0% de tramos sin distancia de adelantamiento, longitud = 8 km
- b. *CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO* Reparto por sentidos 70/30, 10% de camiones, 5% de vehículos de recreo, 1% de autobuses

¿Cuál es la capacidad de la sección?, ¿Cuál es la máxima intensidad posible para el nivel de servicio C?

Alimente el HCS con su información y determine:

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Mejoramiento del nivel de servicio
- c) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- d) ¿Cómo se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- e) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

5. Una carretera rural de dos carriles soporta un volumen horario punta de 180 v/h, y tiene las siguientes características:

- a. *CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.* Velocidad de proyecto 96 km/h, carriles de 3.30 m, acotamientos de 0.60 m, terreno montañoso, 80% de tramos sin posibilidad de adelantamiento, longitud = 16 km
- b. *CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.* Reparto por sentido 60/40, 5% de camiones, 10% de vehículos de recreo, no hay autobuses, 85% de vehículos ligeros.

¿Cuál es el nivel de servicio de esta carretera en los periodos punta?.

Alimente el HCS con su información y determine.

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Mejoramiento del nivel de servicio
- c) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- d) ¿Cómo se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- e) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

6. Cierta carretera de dos carriles que discurre por terreno montañoso tiene un tramo de 3.2 km con una inclinación del 6%. Además tiene las siguientes características:

- a. *CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.* Carriles de 3.60 m, acotamientos de 2.40 m, 60% sin posibilidad de adelantamiento.
- b. *CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.* Reparto por sentidos 70/30, 12% de camiones, 7% de vehículos de recreo, 1% de autobuses, 80% de vehículos ligeros. FHP = 0.85

¿Cuál es el máximo volumen que puede circular por el tramo a la velocidad de 64 km/h (ND D)?

Alimente el HCS con su información y determine.

- a) Nivel de servicio de operación actual
- b) Mejoramiento del nivel de servicio
- c) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- d) ¿Cómo se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- e) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

7. Una carretera rural de dos carriles que discurre por terreno montañoso tiene un tramo con inclinación del 7% de 3.2 km de longitud. En la actualidad soporta un volumen en la hora punta de 500 v/h. Sus características más relevantes son las siguientes.
- a) **CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA** Velocidad de proyecto de 96 km/h, carriles de 3.30 m, acotamientos de 1.20 m, 80% sin posibilidad de adelantamiento
 - b) **CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.** Reparto por sentidos 80/20, 4% de camiones, 10% de vehículos de recreo, 2% de autobuses, 84% de vehículos ligeros, FHP= 0.85.

¿Cuál es el nivel de servicio del tramo inclinado? ¿Cuál es la velocidad de subida en los 15 min punta? ¿Cuál es la capacidad? ¿Cuál es la demora sufrida por los vehículos que suben suponiendo que la velocidad de aproximación a la rampa es de 88 km/h?

Alimente el HCS con su información y determine:

- f) Nivel de servicio de operación actual
- g) Mejoramiento del nivel de servicio
- h) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- i) ¿Como se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- j) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

8. Una carretera rural de dos carriles tiene una rampa de 400 m con el 4% de inclinación y las siguientes características:

- a) **CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA** Tramo de aproximación en llano, carriles de 3.60 m, acotamientos de 2.40 m, 40% de tramos sin posibilidad de adelantamiento.
- b) **CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO.** VHP (volumen horario de proyecto) = 400 v/h, 15% de camiones, 5% de vehículos de recreo, 1% de autobuses, 79% de vehículos ligeros, reparto por sentidos del 60/40, FHP = 0.85.

¿Se puede justificar la creación de una vía lenta en este tramo?

Auxiliándose del HCS con su información y determine:

- k) Nivel de servicio de operación actual
- l) Mejoramiento del nivel de servicio
- m) Flujo de saturación y vida útil, considerando una tasa de crecimiento del 2% anual
- n) ¿Cómo se comportaría la vialidad en terreno montañoso?, mejore su nivel de servicio y concluya
- o) Realice cuadros comparativos de sus resultados y concluya

VI. INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

VI.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tránsito rodado, composición del mismo, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección. La metodología de este capítulo se centra en la determinación del nivel de servicio para condiciones prevalecientes conocidas o en proyecto, pero presenta alternativas de cálculo para la determinación de otras variables usando un nivel de servicio asumido o deseado.

En la intersección regulada por semáforos hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad: la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye el tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en cómo se distribuya el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos.

La capacidad se evalúa en términos de la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad (relación I/c), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media de parada por vehículo (g/c)

Los semáforos modernos otorgan el tiempo de muchas maneras, desde la modalidad más sencilla de tiempos prefijados (tiempos fijos) y dos fases hasta la más compleja de tipo multifase

Generalmente se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semaforicas.

- (a) Ciclo, cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo.
- (b) Duración de ciclo, el tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo C .
- (c) Fase, la parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tránsito que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos.
- (d) Intervalo, un periodo durante el cual todas las indicaciones semaforicas permanecen constantes
- (e) Tiempos de cambio, los intervalos "amarillo" más el "todo rojo" que tienen lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que movimientos contrapuestos se pongan en marcha, se expresa con el símbolo Y y se mide en segundos.
- (f) Tiempo de verde, el tiempo dentro de una fase dada, durante la cual la indicación "verde" está a la vista; expresado con el símbolo G_i (para la fase i) y en segundos.
- (g) Tiempo perdido, el tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento, estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio (durante el cual la intersección se evacua) y al principio de cada fase cuando los primeros autos de la cola sufren retrasos en el arranque.
- (h) Tiempo de verde efectivo, el tiempo durante una fase dada que está efectivamente disponible para los movimientos permitidos, generalmente se considera como el tiempo verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido para la fase en cuestión; expresada en segundos y representada con el símbolo g_i (para la fase i).
- (i) Proporción de verde, la proporción de verde efectivo en relación a la duración del ciclo, denotada con el símbolo g_i/C (para la fase i).

(j) Rojo efectivo, el tiempo durante el cual no se permite la circulación a un movimiento dado o un conjunto de movimientos; es la duración del ciclo menos el tiempo verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos y simbolizado con r_i .

La capacidad en las intersecciones se define para cada acceso. La capacidad del acceso en las intersecciones es la máxima intensidad de circulación (para el acceso en cuestión) que puede atravesar la intersección en las condiciones prevalecientes del tráfico, la carretera y la señalización. Generalmente, la intensidad de circulación se mide o proyecta para un período de 15 minutos y la capacidad se determina en vehículos por hora.

La capacidad en las intersecciones reguladas por semáforo se basa en el concepto de saturación e intensidad de saturación. La intensidad de saturación se define como la máxima intensidad de circulación que puede circular por un acceso de una intersección o grupo de carriles dado en las condiciones de tránsito y de la carretera prevalecientes, suponiendo que el acceso o el grupo de carriles tenga un 100% de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo. La intensidad de saturación se representa con el símbolo s_i , y se expresa en unidades de vehículos por hora de tiempo de verde efectivo (v/hv).

VI.2 USO DEL PROGRAMA

La pantalla correspondiente al análisis de intersecciones reguladas por semáforos se diferencia de los tópicos que analiza el HCS, en la presentación de las pantallas de datos, ya que es un poco más dinámica. La estructura de la pantalla cuenta con ventas de archivo, edición, correr, ver, opciones, salir y de ayuda. Para empezar a alimentar los datos de un problema es necesario iniciar con el menú de edición, donde se da la información referente a los volúmenes de tránsito en la vía y a los tiempos. En la ventana donde se dan las características del tránsito que circula en la intersección, se debe dar la información referente a la sección, la geometría de la sección (número de carriles por dirección y ancho de carril, pendiente), volúmenes de tránsito que van de una dirección a otra (información obtenida de los aforos), factor de hora pico, porcentaje de vehículos pesados, si existen o no zonas de estacionamiento, peatones, si el semáforo es posible que sea activado por los peatones. En la ventana de tiempos, se dibujan las fases del semáforo, se indican los tiempos de verde, de ámbar y de rojo para calcular la longitud del ciclo. Una vez alimentada toda la información referente a la intersección, se elige la opción de "run", donde se presentan varias opciones, la primera permite calcular el nivel de servicio de la intersección, la capacidad y flujo de saturación. En la opción de "view" se ve el resultado de los cálculos realizados con "run", los factores de ajuste y es posible imprimir los resultados y finalmente con "quit" se sale de la opción de análisis de intersecciones semaforizadas.

VI.3 EJEMPLO

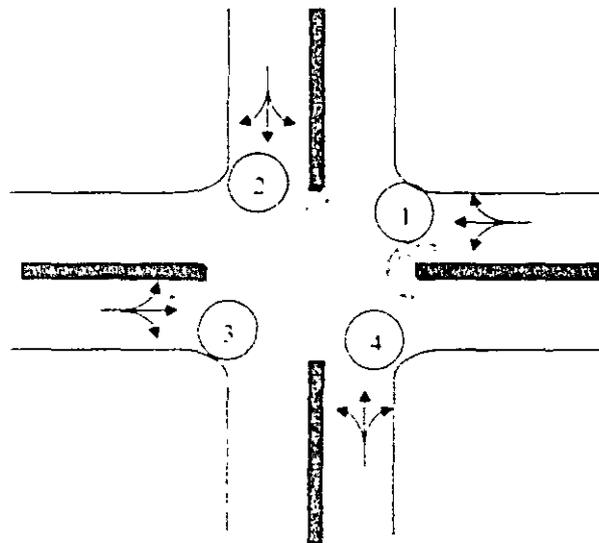
A continuación se presenta un ejemplo de aplicación:

Sea la intersección mostrada en la siguiente figura, con su geometría correspondiente, se determinará el nivel de servicio

VI.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1 Elija una intersección semaforizada aislada que conozca, considerando las definiciones incluidas en el HCM para este efecto; realice el aforo de la intersección seleccionada, considerando todos los movimientos que se presenten en la intersección (de frente, vuelta izquierda, vuelta derecha, retornos) durante la hora pico con cortes cada 15 minutos, así como con su correspondiente composición vehicular, si existen peatones y semáforo para peatones, estacionamientos cercanos que tengan influencia en el comportamiento de la circulación (verificar movimientos por hora), paradas para transporte público y área de localización de la intersección (CBD u otra) También se requiere medir las velocidades de cada uno de los accesos a la intersección y verificar las fases y tiempos de las fases y ciclo correspondientes. Asimismo, se debe observar el tipo de pelotón de arribo a cada uno de los accesos para tipificarlos (1-5)

Por lo tanto, las zonas por aforar serán como lo muestra el siguiente diagrama:



En cuanto a la geometría de las vialidades, se debe conocer los anchos de carril, número de carriles, pendientes (%), tipo de terreno, diseño de la sección y/o secciones, es recomendable dibujar un croquis con la sección que se eligió, ya que este diagrama permitirá precisar el comportamiento de la sección

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (VI.2), imprima sus resultados

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la vialidad en la intersección
- b) Mejoramiento del comportamiento de la intersección, al menos compute 2 soluciones y concluya
- c) Cálculo del volumen de saturación de las vialidades y vida útil.

2 La siguiente figura ilustra la intersección de la Avenida T y la calle M. Es una intersección sencilla, de cuatro accesos que tiene un semáforo de tiempos fijos de dos fases, con ciclo de 70 seg. La calle M tiene dos carriles en cada dirección, mientras que la Avenida T tiene un solo carril en cada dirección

El objetivo es analizar la capacidad y el nivel de servicio de esta intersección para un conjunto de volúmenes de demanda que surgirán como producto de un nuevo desarrollo urbanístico en la zona, y recomendar los cambios a efectuar en el reglaje semafórico y en el proyecto geométrico actual si los mismos no pueden dar servicio a las nuevas demandas de manera aceptable.

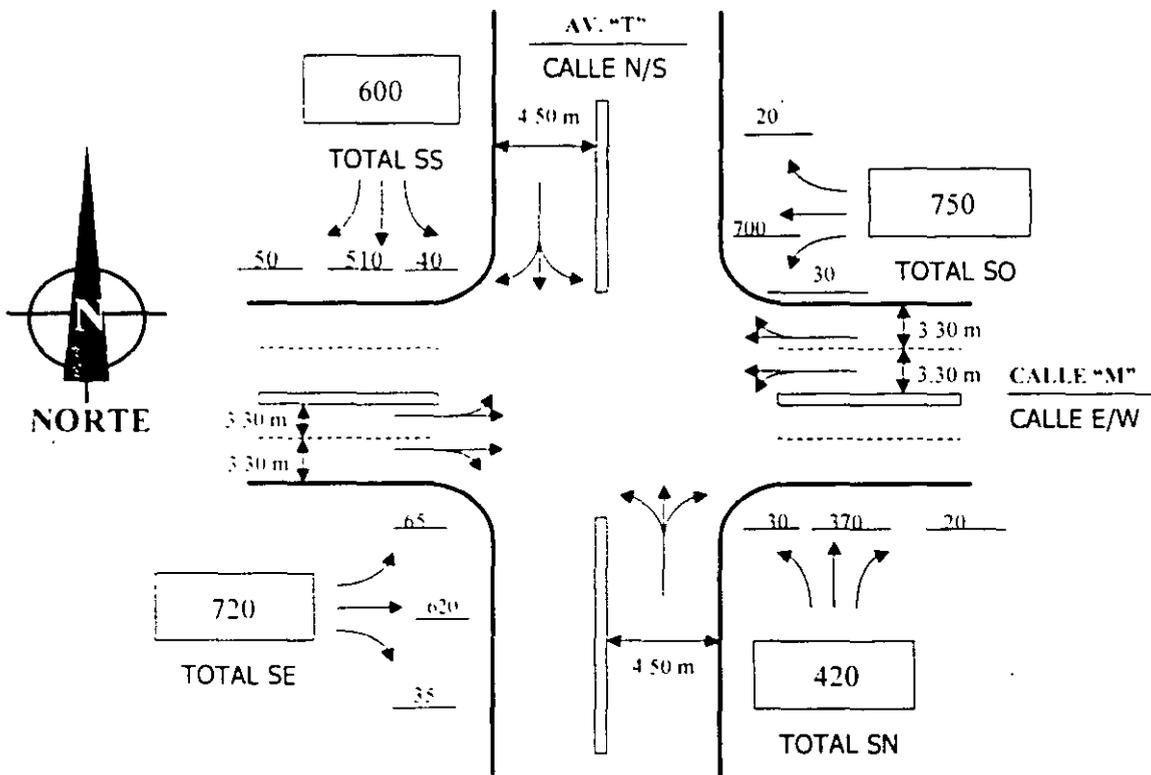


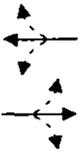
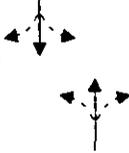
FIGURA DE INTERSECCIÓN AVENIDA "T" Y CALLE "M"

Con la información anterior obtenga

- a) Nivel de servicio actual
- b) Mejoramiento del comportamiento de la intersección, al menos compute 2 soluciones y concluya
- c) Realice un cuadro comparativo de sus resultados y concluya

- d) Cálculo del volumen de saturación de la intersección y vida útil.
 e) Considerando un incremento del 3% anual del volumen, en 10 años, ¿Cuál será el nivel de servicio?, mejórelo y realice un cuadro comparativo con sus resultados, concluya.

CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y DE LA CIRCULACIÓN										
Acceso	Inclin (%)	%VP	Carril Estac Ady.		Autobús (N _B)	FH P	Peat. Conflicto (pt/h)	Pulsador paso peatonal		Tipo Lleg
			S ó N	Nm				Só N	MinReg.	
SE	0	5	N	-	0	0.90	100	N	9.8	4
SO	0	5	N	-	0	0.90	100	N	9.8	2
SN	0	8	N	-	0	0.90	100	N	13.8	3
SS	0	8	N	-	0	0.90	100	N	13.8	2
PLAN DE FASES										

D I A G R A M A						
	$G=27$ $Y+R=43$	$G=37$ $Y+R=33$				<i>Duración del ciclo: 70 seg.</i>

3 Se espera que la intersección de la calle "S" y el Boulevard "W" experimente un incremento de demanda como consecuencia de ciertos desarrollos urbanos propuestos para la zona. La calle "S" es un calle de un solo sentido con dos carriles de circulación y dos carriles para el estacionamiento. El Boulevard "W" es una arteria con separación de sentidos sin carriles de estacionamiento, con dos carriles de circulación en cada sentido y un carril de giro a la izquierda para el acceso en el SE. La siguiente figura muestra las condiciones y características actuales de la intersección.

Se pide tantear un nuevo reglaje del sistema semafórico existente, así como la decisión de si esta medida sera suficiente para dar servicio a la demanda esperada sin necesidad de hacer ningún cambio en la geometría de la intersección.

Con la información anterior obtenga:

- a) Nivel de servicio actual
- b) Mejoramiento del comportamiento de la intersección, al menos compute 2 soluciones y concluya
- c) Realice un cuadro comparativo de sus resultados y concluya
- d) Cálculo del volumen de saturación de la intersección y vida útil.
- e) Considerando un incremento del 2% anual del volumen, en 10 años, ¿Cuál será el nivel de servicio?, mejórelo y realice un cuadro comparativo con sus resultados, concluya

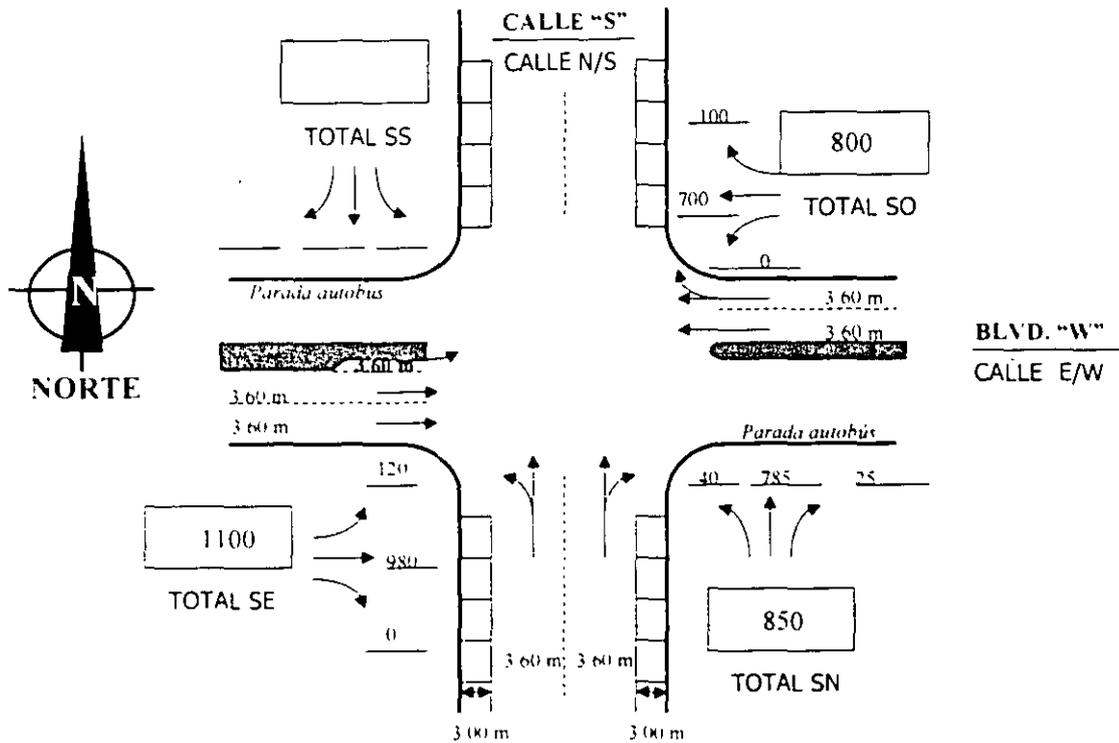
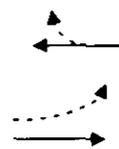


FIGURA INTERSECCIÓN CALLE "S" Y BLVD. "W"

CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y DE LA CIRCULACIÓN										
Acceso	Inclin (%)	%VP	Carril Estac Ady.		Autobús (N _B)	FH P	Peat. Conflicto (p/h)	Pulsador paso peatonal		Tipo Lleg
			S ó N	Nm				Só N	MinReg.	
SE	0	10	N	-	20	0.95	50	N	13.5	3
SO	0	10	N	-	20	0.95	50	N	13.5	3

SN	-2	5	S	20	0	0.9 5	50	N	17.5	3
SS										
PLAN DE FASES										
D I A G R A M A										
	G= Y+R=43	G= Y+R=	G= Y+R=							Duración del ciclo.

4 La intersección de la Quinta Avenida y la Calle 12 soporta una circulación elevada. Ambas vías son arterias de cuatro carriles con sentidos separados, y carriles de giro a la izquierda en cada acceso. El estacionamiento está permitido en la Calle 12, y prohibido en la Quinta Avenida. Debido a la frecuencia de los giros a la izquierda desde la Quinta Avenida, y a la existencia de una fase exclusiva para el MI de esta calle seguida de un tiempo de verde adelantado para el acceso con mayor demanda de giro a la izquierda, el semáforo es del tipo accionado. En la siguiente figura se describe la intersección. Se trata de determinar la adecuación del trazado y el plan semafórico para dar servicio a los volúmenes de llegada existentes.

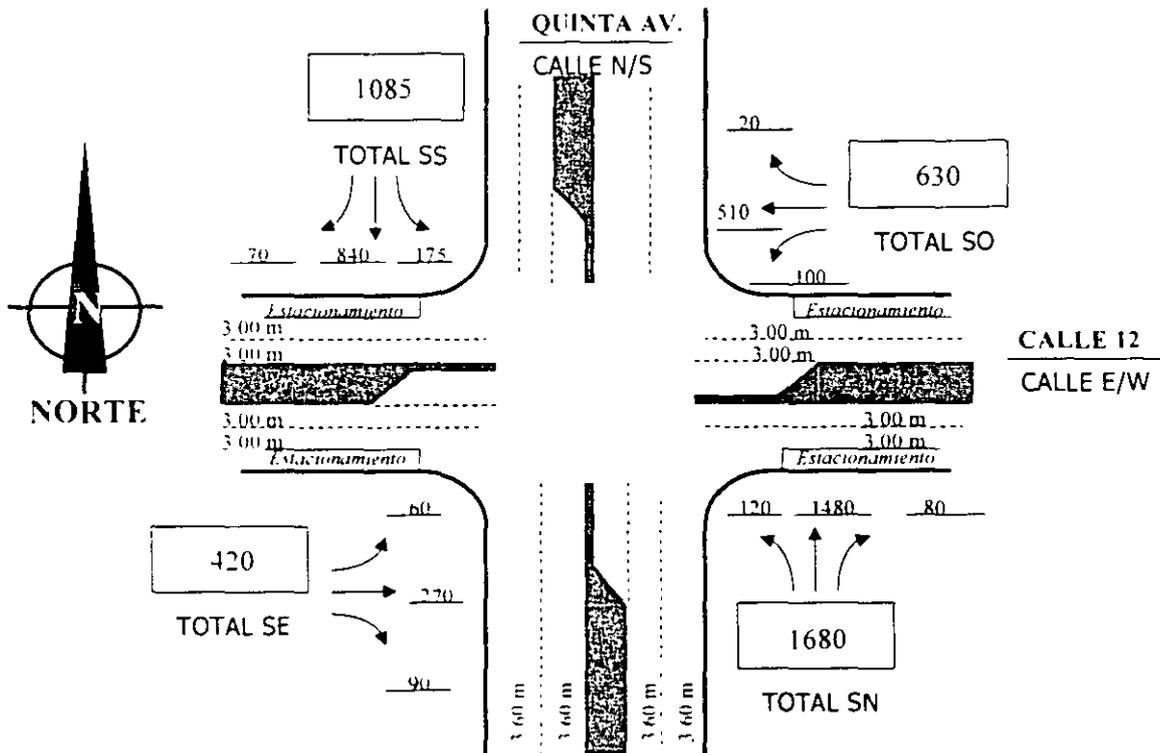
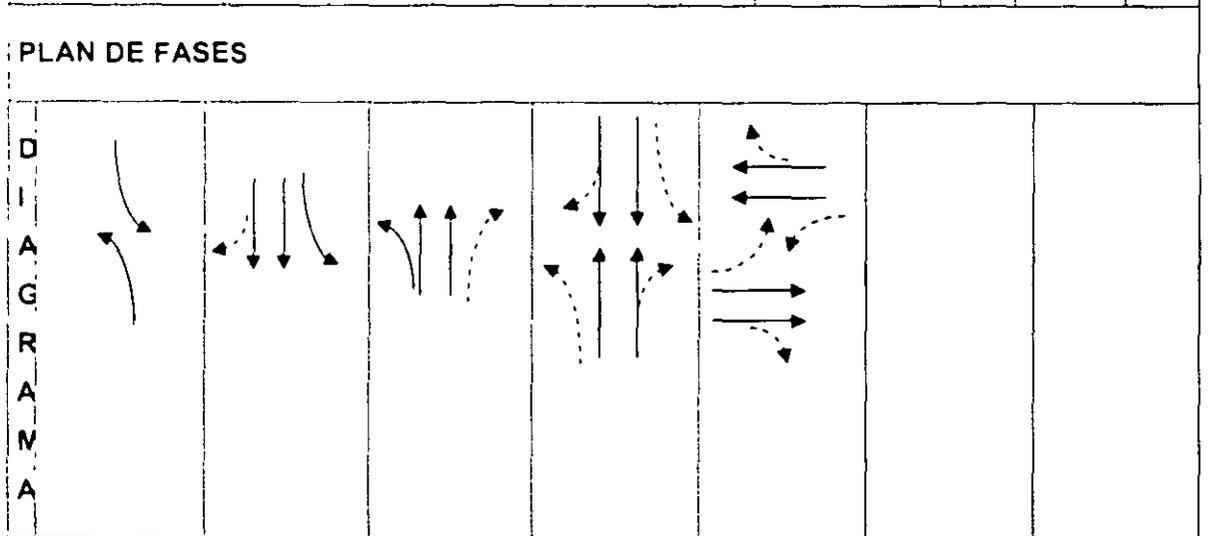


FIGURA INTERSECCIÓN QUINTA AVENIDA Y CALLE 12

Con la información anterior obtenga.

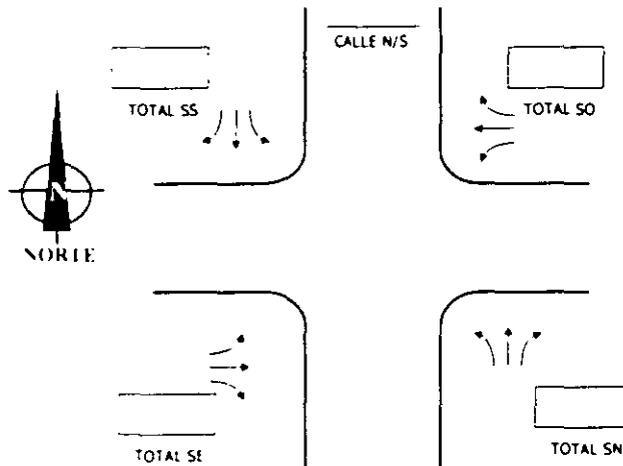
- Nivel de servicio actual
- Mejoramiento del comportamiento de la intersección, al menos compute 2 soluciones y concluya
- Realice un cuadro comparativo de sus resultados y concluya
- Cálculo del volumen de saturación de la intersección y vida útil.
- Considerando un incremento del 1.5% anual del volumen, en 10 años, ¿Cuál será el nivel de servicio?, mejórelo y realice un cuadro comparativo con sus resultados, concluya

CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y DE LA CIRCULACIÓN										
Acceso	Inclinación (%)	%VP	Carril Estac. Ady.		Autobús (N _B)	FH P	Peat. Conflicto (pt/h)	Pulsador paso peatonal		Tipo Lleg
			S ó N	Nm				S ó N	MinRe g	
SE	0	5	S	5	0	0.85	200	S	22	3
SO	0	5	S	5	0	0.85	200	S	22	3
SN	0	2	N	0	0	0.90	50	S	22	3
SS	0	2	N	0	0	0.90	50	S	22	3



G= Y+R=43	G= Y+R=	G= Y+R=	G= Y+R=	G= Y+R=	Duración del ciclo:
--------------	------------	------------	------------	------------	---------------------

5. Seleccione otra intersección semaforizada en la ciudad que conozca, realice los aforos correspondientes para el diseño de la misma, llene el siguiente formato de campo:



CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y DE LA CIRCULACIÓN										
Acceso	Inclin (%)	%VP	Carril Estac Ady		Autobús (N _B)	FH P	Peat. Conflicto (pt/h)	Pulsador paso peatonal		Tipo Lleg
			S ó N	Nm				Só N	MinReg.	
SE										
SO										
SN										

SS									
PLAN DE FASES									
D I A G R A M A									
	G= Y+R=43	G= Y+R=	G= Y+R=	G= Y+R=	G= Y+R=	Duración del ciclo			

Procese la información en el HCS. determine

- a) Nivel de servicio actual
- b) Nivel de servicio en 10 años, considerando una tasa de crecimiento del flujo vehicular del 2% anual
- c) Flujo de saturación
- d) Mejoramiento del nivel de servicio actual
- e) Enliste las opciones para mejorar el nivel de servicio

VII. INTERSECCIONES SIN SEMÁFOROS

VII.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, presenta en este apartado una metodología para el diseño de intersecciones reguladas mediante señales de ALTO, en dos accesos, y de CEDA EL PASO. Estos procedimientos no son aplicables para el análisis de las intersecciones reguladas con una señal de ALTO en los cuatro accesos, o de aquellas otras que no cuentan con regulación alguna. Puesto que el procedimiento se basa en la utilización de los huecos, o intervalos existentes en la corriente principal, por los vehículos que cruzan o giran a través de dicha corriente, se requiere que la prioridad de paso se encuentre claramente asignada, y que los movimientos que buscan los intervalos permanezcan inalterados. En las intersecciones sin ninguna regulación o en aquellas otras que se regulan con un ALTO en los cuatro accesos, cada movimiento busca huecos en las otras corrientes conflictivas, originando un proceso de selección bastante diferente al de aquellas otras intersecciones cuya regulación se efectúa mediante señales de ALTO, en dos accesos, y de CEDA EL PASO

Las intersecciones sin semáforos constituyen la inmensa mayoría de las intersecciones a nivel de cualquier sistema viario. En estas intersecciones se utilizan las señales de ALTO y CEDA EL PASO para asignar la prioridad de paso a una de las calles. Esta asignación fuerza al conductor de la calle regulada a seleccionar juiciosamente los intervalos en la corriente de circulación de la calle principal a través de los cuales se realizan las maniobras de cruce o giro. Así pues, la capacidad de los accesos controlados depende de dos factores

1. La distribución de los intervalos en la corriente de circulación de la calle principal
2. Del juicio de los conductores para seleccionar los intervalos a través de los cuales realizarán las maniobras deseadas

Los procedimientos de cálculo dependen de ambos factores: la distribución de los intervalos en las corrientes conflictivas, y el comportamiento de los conductores en la aceptación de intervalos en dichas intersecciones

VII.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se inicia un nuevo problema (opción 1), después el programa pide datos para identificar la información (opción 2), como son datos referentes a la velocidad promedio en la vía principal de la intersección, factor de hora pico, densidad de población de la zona donde se encuentra la intersección, nombre de las calles N-S y E-W, nombre del analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información. Posteriormente (opción 3) se da información relativa a la configuración de la intersección y al tipo de control, es decir, se indica si se trata de una intersección tipo "+" o tipo "T", la dirección de la calle principal (es decir, aquella cuya circulación no se encuentra restringida por ningún señalamiento ni de ALTO, ni de CEDA EL PASO), así como el tipo de control, ya sea señalamiento de ALTO, CEDA EL PASO, o ambos.

En el siguiente menú (opción 4) se introducen los datos relativos al volumen de tránsito que pasa por la intersección en cada dirección. Después (opción 5) se alimentan los datos de la geometría de la intersección, es decir, el número de carriles por aproximación a la intersección, así como el tipo de movimientos que se presentan en los carriles que se encuentran controlados por el señalamiento. En la opción 6 se alimentan los factores de

ajuste y carriles, es decir, los datos para la estimación de los factores de ajuste por % de camiones (el programa indica que si se conoce la composición vehicular en la intersección, es posible calcular el nivel de servicio sin conocer el dato, en este caso el programa lo calculara para la capacidad de la intersección), radio de curvatura de la banqueta para vueltas derechas, por carril de aceleración (en caso de existir) y pendiente

La siguiente opción (opción 7) permite almacenar los datos del problema y finalmente la opción 8 da los resultados de los cálculos que se realizan con los datos que se han proporcionado.

VII.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación.

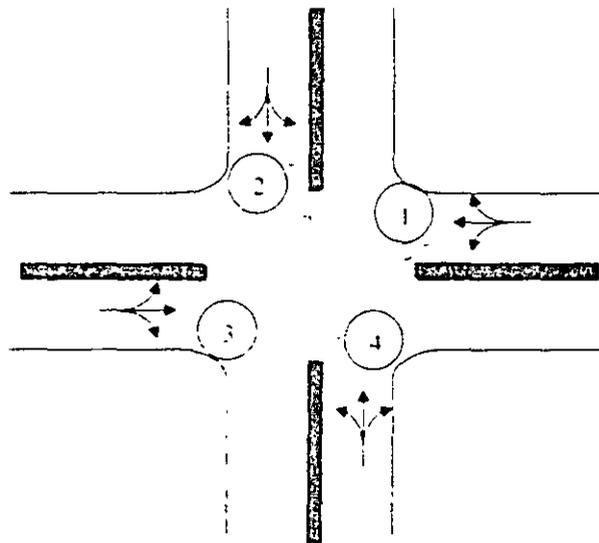
Considérese una intersección sin semáforos, con señalamientos de ALTO en la dirección N-S, la intersección es tipo "+", la velocidad promedio de recorrido es de 30 mph, un factor de hora pico de 1, y una densidad de 150 000 hab/mill², los volúmenes de tránsito se muestran en la primera página de la ejecución del programa.

Como se puede observar, de los resultados, el nivel de servicio de la vía principal es A, lo cual quiere decir que esta vía ofrece un servicio muy conveniente para los usuarios. En cuanto al nivel de servicio en la dirección N-S se observa que es un poco deficiente. Lo anterior debido a que los volúmenes que circulan sin restricción son altos, por lo cual el conductor que pasa por la vialidad N-S debe tener precaución y por lo tanto se pueden presentar algunas colas de espera, una forma de mejorar el funcionamiento de esta vía es semaforizando la intersección, y así se da un rango un poco mayor de circulación a la vía N-S

VII.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1. Elija una intersección sin semaforizar aislada que conozca, considerando las definiciones incluidas en el HCM para este efecto, verifique el tipo de intersección del que se trate, ya que puede ser en "T" o en "+", de ahí dependerá el número de movimientos que tendrá que observar, realice el aforo de la intersección seleccionada, considerando todos los movimientos que se presenten en la intersección (de frente, vuelta izquierda, vuelta derecha, retornos) durante la hora pico con cortes cada 15 minutos, así como con su correspondiente composición vehicular, localización de las señales - en qué accesos se presentan-, así como su identificación (ya sean de ALTO o CEDA EL PASO), población aproximada (área) en la que se encuentra la intersección. También se requiere medir las velocidades de cada uno de los accesos a la intersección.

Por lo tanto, en caso de ser una intersección en "+" las zonas por aforar serán como lo muestra el siguiente diagrama (para el caso de una intersección "T", se considerarán los mismo movimientos, eliminando los correspondientes al acceso 2):



En cuanto a la geometría de las vialidades, se debe conocer los anchos de carril, número de carriles, pendientes (%), tipo de terreno, diseño de la sección y/o secciones, es recomendable dibujar un croquis con la sección que se eligió, ya que este diagrama permitirá precisar el comportamiento de la sección

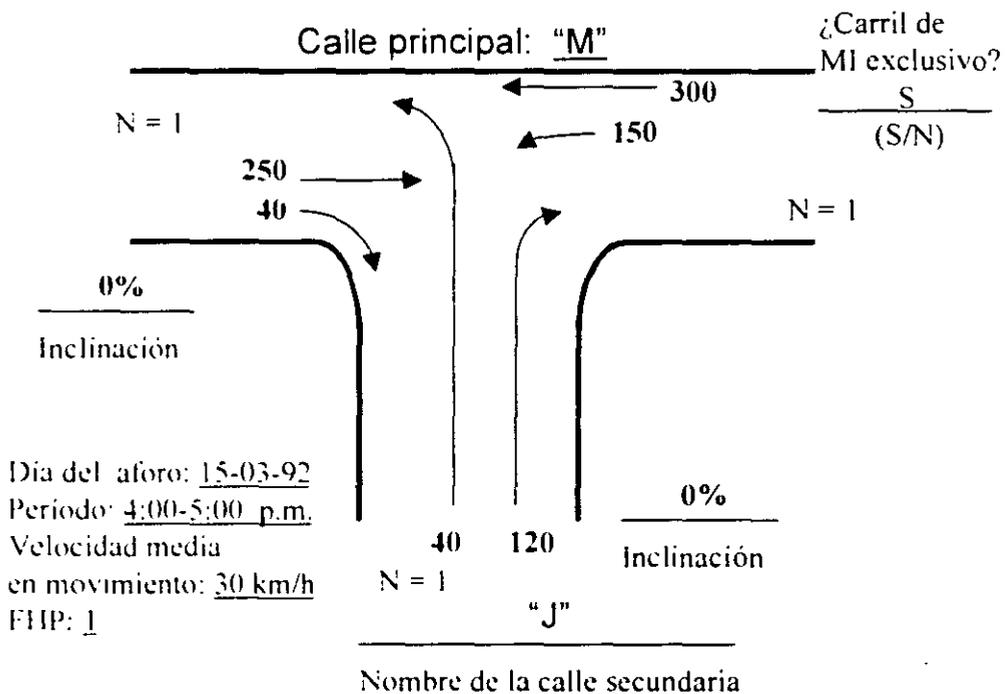
Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (VII.2), imprima sus resultados.

Los resultados que se requiere obtener del programa son:

- a) Situación actual de la vialidad en la intersección
- b) Flujo de saturación

- c) Mejoramiento del comportamiento de la intersección, al menos compute 2 soluciones y concluya
 - d) Cálculo del volumen de saturación de las vialidades y vida útil (determine el factor de crecimiento poblacional de la zona elegida).
3. Se trata de la intersección de las calles "M" y "J", ubicada en una zona urbana con una población de 100.000 habitantes. "M" es una calle colectora de dos carriles y "J" es una calle local que da servicio a una zona con un desarrollo urbano de tipo residencial. El acceso de esta calle está regulado mediante una señal de ALTO. En las inmediaciones de la intersección no existe ningún ensanchamiento y los radios de las esquinas son de 6.09 m.

Los residentes de la zona se han quejado de que a media tarde en el giro a la derecha hacia la calle Market se producen unas demoras considerables. Ellos creen que es debido a que ambos giros están obligados a compartir el mismo carril y por ello han solicitado que se habilite un carril único para el giro a la derecha

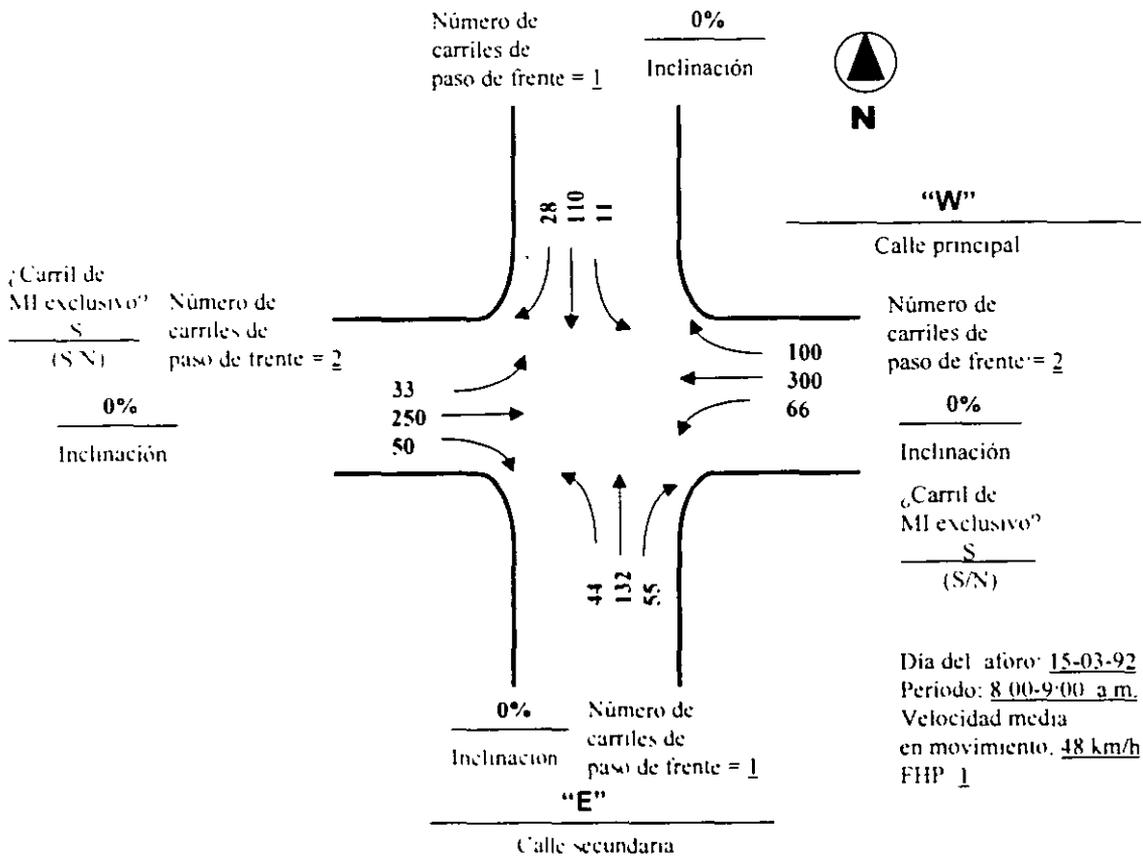


Procese la información en el HCS y determine

- a) Nivel de servicio de la intersección
- b) Mejoramiento del nivel de servicio actual (enliste las opciones para el mejoramiento de la operación)
- c) Flujo de saturación
- d) Nivel de servicio en los próximos 10 años y mejoramiento de las condiciones
- e) Vida útil de la intersección, considerando una tasa de crecimiento del flujo vehicular del 5% anual

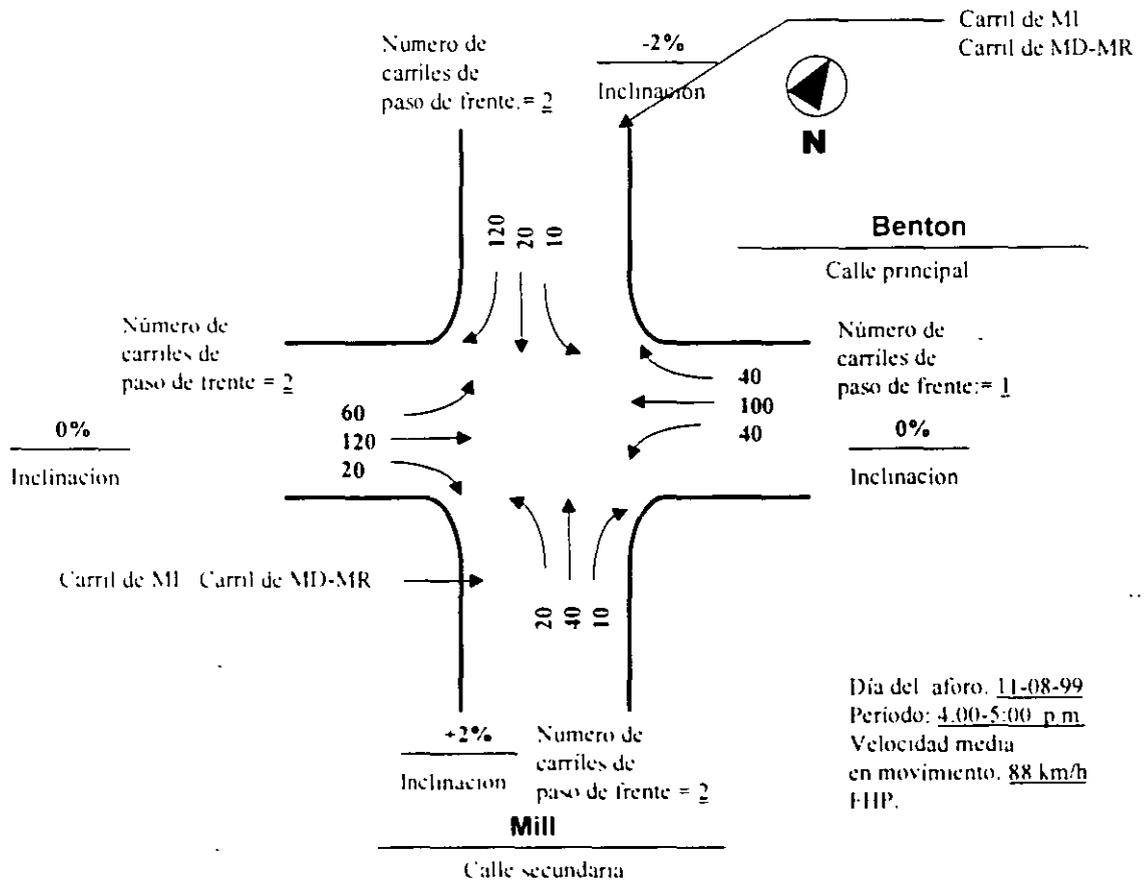
3. Se hace referencia a la intersección de la calle "W", una arteria de cuatro carriles, con la calle "E", una calle colectora de dos carriles, en una zona de 150.000 habitantes. La calle "E" está regulada mediante señalización de ALTO y su acceso en el sentido hacia el norte

se ha ensanchado para adicionar un carril de giro a la izquierda. No obstante, los residentes todavía se quejan de que las demoras en este emplazamiento son excesivas. El formulario del problema muestra esta intersección:



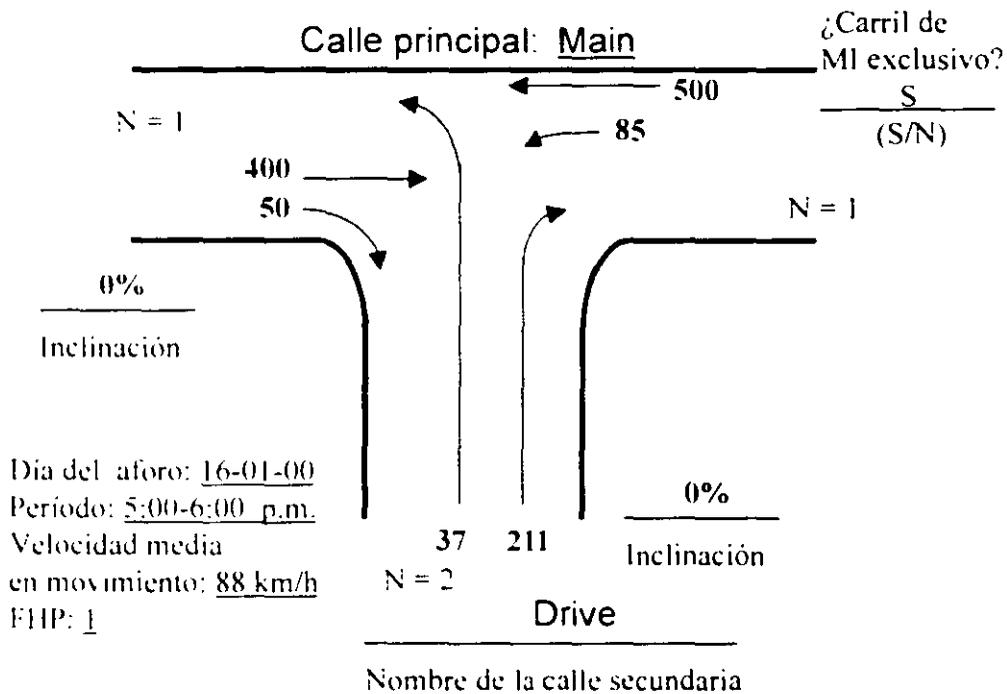
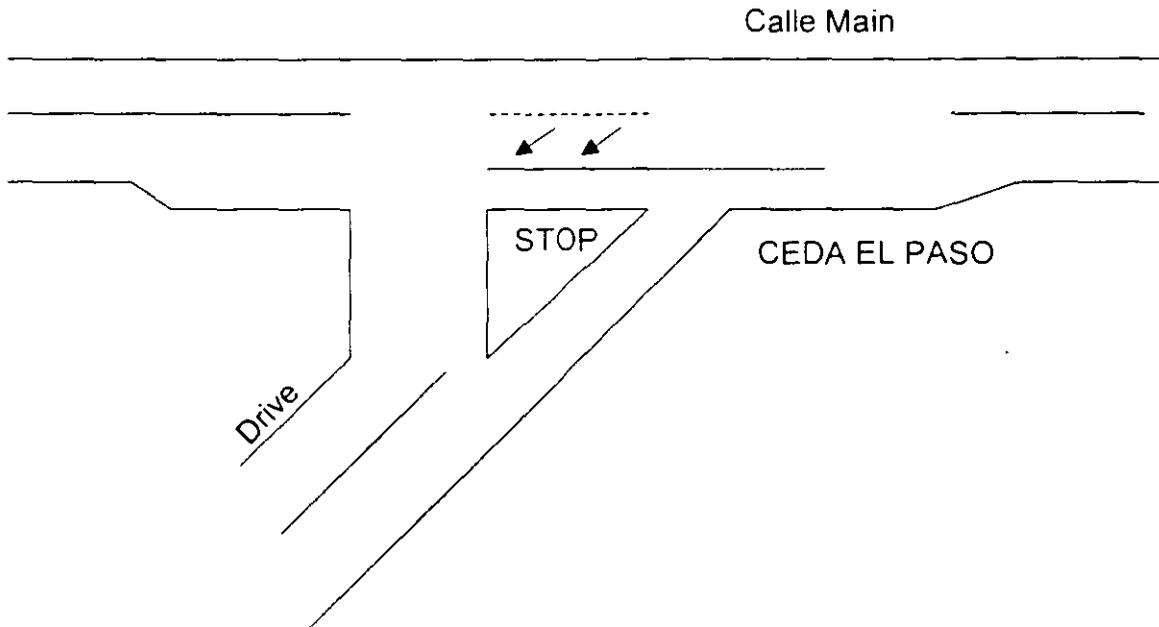
Procese la información en el HCS y determine:

- Nivel de servicio de la intersección
 - Mejoramiento del nivel de servicio actual (enliste las opciones para el mejoramiento de la operación)
 - Flujo de saturación
 - Nivel de servicio en los próximos 10 años y mejoramiento de las condiciones
 - Vida útil de la intersección, considerando una tasa de crecimiento del flujo vehicular del 5% anual
4. Esta intersección es la de la carretera Benton, de dos carriles, con una calle local, Mill. La calle Mill presenta una rasante con inclinación del 2% y una composición del tránsito con un 85% de vehículos ligeros, 12% de camiones y 3% de camiones con remolque. Cada acceso cuenta con dos carriles, uno para el MI y el otro para el MD-MR. La intersección se halla en una zona con una población de 300,000 habitantes, el FHP es 0.88 y la velocidad de acceso en la carretera Benton es de 88 km/h. Se pide evaluar el funcionamiento actual de la intersección. La intersección está regulada mediante señalización de CEDA EL PASO



Procese la información en el HCS y determine.

- k) Nivel de servicio de la intersección
 - l) Mejoramiento del nivel de servicio actual (enliste las opciones para el mejoramiento de la operación)
 - m) Flujo de saturación
 - n) Nivel de servicio en los próximos 10 años y mejoramiento de las condiciones
 - o) Vida útil de la intersección, considerando una tasa de crecimiento del flujo vehicular del 5% anual
5. Se trata de la intersección de las vías Drive y Main, que es de tipo suburbano en una zona con una población de 150.000 habitantes. Dado que esta intersección en T presenta varios elementos geométricos importantes, en la FIGURA se ha representado un croquis de la misma. Nótese que la intersección es canalizada y que el giro a la derecha desde la vía Drive se realiza bajo un ángulo bastante abierto. En el acceso de esta misma vía, el giro a la derecha se regula con un CEDA EL PASO y, por el contrario, el giro a la izquierda con un STOP. El problema es la evaluación del funcionamiento de la intersección



Procese la información en el HCS y determine:

- Nivel de servicio de la intersección
- Mejoramiento del nivel de servicio actual (enliste las opciones para el mejoramiento de la operación)
- Flujo de saturación
- Nivel de servicio en los próximos 10 años y mejoramiento de las condiciones
- Vida útil de la intersección, considerando una tasa de crecimiento del flujo vehicular del 5% anual

VIII. ARTERIAS URBANAS Y SUBURBANAS

VIII.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Las arterias urbanas y suburbanas son calles semaforizadas que dan servicio esencialmente al tránsito de paso y, como función secundaria, proporcionan acceso a propiedades colindantes. A efectos del Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, se las define como vías con un espaciamiento de intersecciones semaforizadas igual o inferior a 3 km, y movimientos de giro en las intersecciones que, generalmente, no exceden el 20% de los volúmenes totales de la circulación. El desarrollo comercial a lo largo de las arterias puede ser intenso, produciendo fricciones en el tránsito que, generalmente, limitan la velocidad deseada por los conductores.

Dentro del sistema vial de transporte urbano por carretera, las calles arteriales constituyen una clase intermedia limitada por un lado por las calles colectoras y las calles céntricas, y por el otro por las carreteras multicarril suburbanas y las carreteras rurales. Las diferencias se determinan, principalmente, por su función, y por el carácter e intensidad del desarrollo comercial colindante.

Las calles colectoras proporcionan tanto acceso terrestre como servicio de circulación al movimiento dentro de las zonas residenciales, comerciales e industriales. Su función de acceso es más importante que la de las arterias y, a diferencia de éstas, su circulación no siempre se halla regulada por los semáforos.

Las calles céntricas suelen ser vías con semáforos que, a menudo se asemejan a las arterias. Sin embargo, su función principal no es la de acomodar la circulación de paso, sino la de proporcionar acceso a los comercios del lugar a los vehículos ligeros, autobuses de transporte colectivo y camiones. Los movimientos de giro en las intersecciones céntricas suelen ser superiores al 20% del tránsito total, puesto que el flujo del centro urbano abarca una cantidad importante de movimiento que circula dando vueltas dentro de la zona.

En las calles céntricas son habituales el elevado número de conflictos peatonales, y las obstrucciones de carril causadas por la parada de taxis, autobuses, camiones, y por el estacionamiento y salida del mismo, de vehículos, que crean turbulencia en la circulación. La función de las calles céntricas puede variar de acuerdo con la hora del día y, por dicha razón, algunas calles céntricas, estratégicamente ubicadas son convertidas en arterias durante las horas de tránsito punta.

Las carreteras suburbanas multicarril y las carreteras rurales difieren de las arterias suburbanas en los siguientes aspectos: (1) el desarrollo comercial colindante no es tan intenso, (2) la densidad de accesos no es tan elevada y, (3) las intersecciones con semáforos están separadas más de 3 km. Estas condiciones dan como resultado un menor número de conflictos de circulación, un flujo más fluido y la eliminación de la estructuración en columnas asociada a la circulación arterial.

Entre las arterias urbanas y suburbanas se incluyen las arterias multicarril de calzadas separadas, y de una sola calzada, las arterias bidireccionales de dos carriles y las unidireccionales.

VIII.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se inicia un nuevo problema (opción 1), después el programa pide la descripción de la arteria (opción 2), como son datos referentes a la arteria, clase de arteria de acuerdo con su función y categoría de proyecto (Manual de Capacidad de Carreteras, 1985), número de segmentos de la arteria e información adicional que se desee proporcionar. Posteriormente (opción 3) se proporciona la información relativa a las demoras en las intersecciones de la arteria, como son longitud del ciclo, información por grupo de carriles (relación g/C, v/c y capacidad), así como el factor de progresión (definido en el Manual de Capacidad de Carreteras, 1985).

El siguiente menú (opción 4) da los resultados de los cálculos que se realizan con los datos que se han proporcionado (nivel de servicio de la arteria) Finalmente, en la opción 5 es posible almacenar los datos del problema.

VIII.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación.

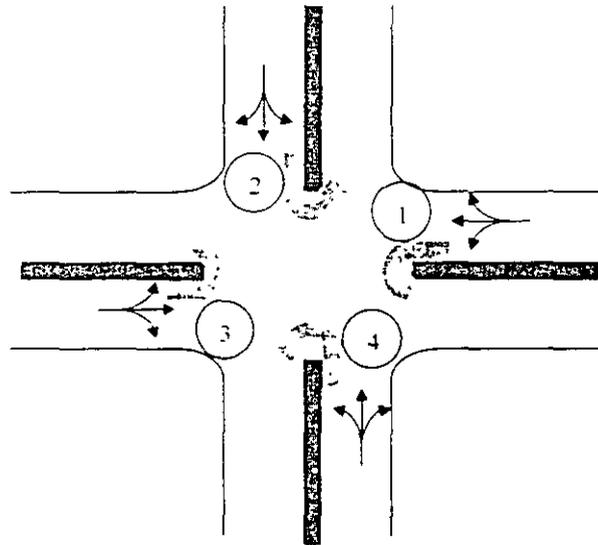
Considerese una arteria urbana con 4 segmentos, una longitud de ciclo de 100 seg y con los datos de entrada proporcionados en la primera página de corrida del programa.

De los resultados se puede observar que la arteria se encuentra funcionando en la capacidad, por lo cual es necesario implementar mejoras en la vía para que el funcionamiento ésta sea el conveniente Una posible solución consiste en modificar los tiempos de ciclo de los semáforos.

VIII.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1. Elija una arteria semaforizada con por lo menos 3 intersecciones continuas que conozca, considerando las definiciones incluidas en el HCM para este efecto, realice el aforo de la arteria seleccionada, considerando todos los movimientos que se presenten en cada una de las intersecciones semaforizadas componentes de la arteria (de frente, vuelta izquierda, vuelta derecha, retornos) durante la hora pico con cortes cada 15 minutos, así como con su correspondiente composición vehicular, si existen peatones y semáforo para peatones, estacionamientos cercanos que tengan influencia en el comportamiento de la circulación (verificar movimientos por hora), paradas para transporte público y área de localización de la intersección (CBD u otra). También se requiere medir las velocidades de cada uno de los accesos a la intersección y verificar las fases y tiempos de las fases y ciclo correspondientes Asimismo, se debe observar el tipo de pelotón de arribo a cada uno de los accesos para tipificarlos (1-5) También es importante considerar la distancia entre intersecciones y sus velocidades

Por lo tanto, las zonas por aforar en cada intersección serán como lo muestra el siguiente diagrama:



En cuanto a la geometría de las vialidades, se debe conocer los anchos de carril, número de carriles, pendientes (%), tipo de terreno, diseño de la sección y/o secciones, es recomendable dibujar un croquis con la sección que se eligió, ya que este diagrama permitirá precisar el comportamiento de la sección.

Con la información obtenida en campo, alimente el programa como se indicó en el apartado de uso (VIII.2), imprima sus resultados.

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son.

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
 - b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿porqué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
 - c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
 - d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
 - e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil (considerando la tasa de crecimiento de flujo vehicular de su población).
 - f) Si la arteria seleccionada incrementa su flujo vehicular en un 2% anual, cuál será su vida útil y cuál es su nivel de servicio en 5 años, mejore esta condición y concluya, realice un cuadro de resultados.
2. Una arteria sin separación de sentidos, con tres carriles en cada sentido y un espaciamiento entre semáforos de 0.24 km, atraviesa una zona con un desarrollo urbanístico moderado. Prácticamente, todo el tránsito de esa zona es de paso; existe muy poca actividad peatonal. Identifíquese la clasificación de la arteria.
3. Una arteria multicarril de calzadas separadas opera como arteria principal. Existe un control de accesos importante, no hay estacionamientos y el espaciamiento entre los semáforos es de aproximadamente 0.48 km, siendo estos de tiempos fijos. Existe un escaso desarrollo urbanístico en la zona colindante, dos carriles en cada sentido, y una velocidad en régimen libre, medida, de 62.8 km/h.

Las siguientes tablas contienen información detallada sobre los parámetros de la intersección y de los segmentos arteriales referentes al flujo en sentido sur. En este sentido, la progresión es excelente.

Segmento	Duración del ciclo C	g/C	Relación l/c X	Capacidad del grupo de carriles c	Tipo de llegada
1	70	0.60	0.583	1800	5
2	70	0.60	0.611	1800	5
3	70	0.60	0.611	1800	5
4	70	0.60	0.611	1800	5
5	70	0.60	0.597	1800	5
6	70	0.60	0.593	1800	5
7	70	0.60	0.593	1800	5

Tabla informativa 1. Datos para el Resumen de la demora arterial en intersección

Segmento	Longitud (km)	Velocidad libre (km/h)	Tramo
1	0.32	62.8	1
2	0.32	62.8	2
3	0.48	62.8	3
4	0.48	62.8	4
5	0.48	62.8	5
6	0.64	62.8	6
7	0.64	62.8	7

Tabla informativa 2. Datos para el Formulario de cálculo del NS arterial

Determinar el nivel de servicio arterial, por segmento, y para el total de la arteria. No agregar los segmentos.

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
- b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿por qué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
- c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
- d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
- e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil.

4 El sentido norte de la arteria citada en el ejemplo anterior tiene el tránsito en intersecciones mostrado en las siguientes tablas, y una progresión muy deficiente, con prácticamente la totalidad de la columna en sentido norte llegando en medio de la fase roja en cada intersección

Determinese el nivel de servicio arterial, por segmento, y para el total de la arteria. No agregar los segmentos.

Segmento	Duración del ciclo C	g/C	Relación l/c X	Capacidad del grupo de carriles c	Tipo de llegada
1	70	0.60	0.417	1800	
2	70	0.60	0.417	1800	
3	70	0.60	0.417	1800	
4	70	0.60	0.361	1800	
5	70	0.60	0.361	1800	
6	70	0.60	0.306	1800	
7	70	0.60	0.306	1800	

Tabla informativa 1. Datos para el Resumen de la demora arterial en intersección

Segmento	Longitud (km)	Velocidad libre (km/h)	Tramo
1	0.32	62.8	1
2	0.32	68.2	2
3	0.48	68.2	3
4	0.48	68.2	4
5	0.48	68.2	5
6	0.64	68.2	6
7	0.64	68.2	7

Tabla informativa 2. Datos para el Formulario de cálculo del NS arterial

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
 - b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿por qué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
 - c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
 - d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
 - e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil.
5. Una arteria dada tiene dos carriles en cada dirección y una velocidad en régimen libre de 56.3 km/h, estando clasificada como una arteria de Clase II. Existen 10 semáforos con un espaciamiento de 0.32 km entre ellos. Todas las intersecciones tienen semáforos de tiempos fijos, con una duración del ciclo de 60 seg, y una g/C = 0.50. La progresión es excelente

Representar en un gráfico la velocidad arterial por segmento y hallar los niveles de servicio arteriales y de las intersecciones para la demanda corregida del tránsito siendo el campo de variación de la intensidad de 600 v/h a 1,600 v/h.

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
 - b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿porqué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
 - c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
 - d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
 - e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil.
- 6 Recalcular el ejemplo anterior suponiendo que el espaciamiento entre semáforos es de 0.16 km, y que el resto de los datos, incluyendo la clase de arteria, son los mismo que los de ese ejemplo

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
 - b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿porqué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
 - c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
 - d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
 - e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil.
7. La velocidad en régimen libre medida a lo largo de una arteria multicarril bidireccional de calzadas separadas, con un buen control de accesos y carriles para el giro a la izquierda es de 72.4 km/h. Utilizando los procedimientos propuestos para arterias urbanas y suburbanas, utilizables para la toma de datos de campo, se han obtenido los siguientes datos a lo largo de sus ocho segmentos existentes en el sentido Este:

Segmento	Longitud (km)	Tiempo de viaje medio (seg)	Demora media en paradas (seg/v)
1	0.32	28.3	3.4
2	0.24	19.2	1.7
3	0.24	21.8	3.6
4	0.32	29.4	5.3
5	0.40	49.7	17.6
6	0.40	40.6	10.5
7	0.40	35.2	6.2
8	0.32	28.1	3.2

Estos datos se basan en un número significativo de tiempos de recorrido en pruebas en circulación, en los que se incluyen tanto el tiempo en movimiento como la demora en parada de la intersección.

Calcúlese el nivel de servicio arterial por segmento y para el total de la vía y los niveles de servicio de las intersecciones.

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
- b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿porqué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
- c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
- d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
- e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil.

8. La Route 27 es una arteria suburbana, con una velocidad en régimen libre, obtenida en estudio de campo, de 82.06 km/h. Es una vía de una calzada con dos carriles en cada sentido, tiene carriles de espera para giro a la izquierda y está regulada con semáforos. La parte de vía a estudiar presenta un conjunto de semáforos de tiempos fijos. En el periodo de interés y para el tránsito en sentido Oeste se dispone de los siguientes datos:

Segmento	Longitud (km)	C (seg)	g/C	X	c (v/h)
1	1.126	70	0.60	0.89	1.800
2	0.965	70	0.57	0.97	1.710
3	1.126	70	0.60	0.94	1.800
4	1.126	70	0.60	0.94	1.800
5	1.126	70	0.60	0.94	1.800

La progresión semaforica es buena, y obliga a detenerse a menos del 10% del tránsito de paso.

Determinar el nivel de servicio arterial, de cada segmento y del total de la vía.

Los resultados que se requiere obtener del programa HCS son:

- a) Situación actual de la arteria seleccionada (nivel de servicio)
- b) ¿Cuál de las intersecciones de su sistema es la más problemática? ¿porqué?, si mejora únicamente las fases de esta intersección, ¿Cuál es el comportamiento del sistema?
- c) Mejoramiento del comportamiento de la arteria, al menos compute 3 soluciones y concluya
- d) Con sus resultados realice un cuadro comparativo y concluya
- e) Cálculo del volumen de saturación de la arteria y vida útil.

IX. TRANSPORTE PÚBLICO

IX.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Las soluciones aportadas por los sistemas de gestión del transporte a los problemas del transporte urbano, han ido interesándose cada vez más en las características de la capacidad en viajeros de las instalaciones de transporte, además de las características de la capacidad en vehículos de cada modo de transporte en particular. El razonamiento subyacente en este enfoque es que, aunque tanto los autobuses como los tranvías precisan más superficie de calle por vehículo que los coches privados, sin embargo aquéllos transportan un número mucho mayor de viajeros que éstos, siendo este hecho mucho más acusado en las horas punta. En consecuencia, el transporte público emerge como una forma importante de incrementar el número de personas transportadas por los sistemas de transporte urbano.

Los vehículos de transporte colectivo soportan un número importante y proporción de viajes de personas en las horas punta hacia el interior y el exterior del centro urbano, a lo largo de muchas autopistas urbanas, calles arteriales y calles locales del centro urbano.

El concepto de capacidad del transporte colectivo es más complejo, y a la vez más impreciso que el de su homónimo de carreteras: hace referencia a un doble movimiento, esto es, de personas y vehículos; depende de las dimensiones del vehículo de transporte colectivo así como de su frecuencia de circulación; y refleja la interacción entre la concentración de circulación de pasajeros y el flujo de vehículos. Depende, además de la política de circulación establecida por la empresa gestora del transporte colectivo, que generalmente especifica las frecuencias del servicio y el límite de plazas admisible. En consecuencia es preciso adaptar previamente, e incluso ampliar, los conceptos aplicados a la capacidad de carreteras.

IX.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se piden datos para identificar la información (opción 1), como son datos referentes a la sección, analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información. Posteriormente (opción 2) se da información sobre la parada de autobús (relación g/C, tiempo de espera entre cada autobús, tiempo perdido adicional y tiempo de avance de los vehículos).

En la opción 3 se hacen cálculos y se obtiene la información referente a la capacidad del carril de autobús (relación g/c, factor de reducción de la eficiencia, número de pasajeros que entran y/o salen por la puerta delantera y/o trasera, así como el tiempo de servicio para entrar y salir del vehículo).

En el siguiente menú (opción 4) se reciben datos relativos al cálculo de la capacidad de transporte de pasajeros.

Después (opción 5) es posible almacenar los datos del problema y finalmente la opción 6 da la opción de imprimir el informe de resultados del problema.

IX.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación:

Considérese una ruta de transporte colectivo con una relación g/C de 0.5, un tiempo de espera entre vehículos de 30 seg., un tiempo adicional perdido de 12 seg., un tiempo de entrada al vehículo de 10 seg., uno de salida de 5 seg. por la puerta del frente y 5 seg. por la puerta de atrás y un promedio de 30 pasajeros dentro del vehículo. Determine la capacidad de la ruta

Observando los resultados del problema, se puede considerar que la capacidad de la ruta es adecuada, aunque es necesario prever un posible crecimiento en la demanda del mismo.

IX.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1. En este sentido, se evaluará un vehículo "tipo" de una ruta de transporte colectivo que conozca, para lo cual es necesario contar con la siguiente información:
 - Relación g/C del semáforo de una de las intersecciones conflictivas de circulación de la ruta
 - Tiempo de espera promedio del vehículo en la parada
 - Tiempos perdidos promedio (arranque, frenado, incorporación al tránsito, etc.)
 - Tiempo de entrada de usuarios a la unidad
 - Tiempo de salida
 - Número de pasajeros promedio en el vehículo

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
 - b) En caso de contar con diferentes tipos de unidades de transporte público (autobús, microbús, combis), elija un vehículo tipo para cada modo, analice para cada uno de los modos su capacidad. Realice un cuadro comparativo de resultados y concluya, ¿Qué modo le parece el más conveniente para satisfacer la demanda del corredor?
 - c) Mejore la capacidad de la ruta
 - d) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?
-
- 2 Una autopista urbana dada transporta 4,500 coches y 50 autobuses en la hora punta. Los aforos realizados sobre la ocupación por vehículo dan un valor de 1.3 para los coches y 50 para los autobuses, respectivamente Hallar el flujo de personas.

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
- b) ¿Qué modo le parece el más conveniente para satisfacer la demanda del corredor?
- c) Mejore la capacidad de la ruta

- d) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?
3. Una autopista urbana de cuatro carriles (dos en cada sentido) tiene una capacidad de 1.800 vehículos ligeros por carril y hora. La media de ocupación en coches es de 1.5 personas. Se prevé iniciar un servicio de autobús exprés de 100 autobuses por hora, calculándose que cada autobús podrá transportar a 50 personas. Los autobuses circularán por un solo carril. Se desea encontrar la capacidad en personas de la autopista en un sentido y en la hora punta. Cada autobús equivale a 1.5 vehículos ligeros.

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
b) ¿Qué modo le parece el más conveniente para satisfacer la demanda del corredor?
c) Mejore la capacidad de la ruta
d) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?
4. Por una autopista de cuatro carriles, circulan noventa autobuses en el sentido y la hora punta. La autopista transporta también 3.400 vehículos ligeros en el mismo sentido. La ocupación media es de 40 viajeros/autobús, y de 1.4 viajeros por coche.

Se desea conocer: (a) el volumen equivalente en vehículos ligeros en el sentido y hora punta, (b) el nivel de servicio, suponiendo carriles de 3.65 m, sin obstáculos laterales y una velocidad de proyecto de 112 km/h; y, (c) el volumen total de personas.

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
b) ¿Qué modo le parece el más conveniente para satisfacer la demanda del corredor?
c) Mejore la capacidad de la ruta
d) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?
5. Por una calle arterial circulan sesenta autobuses por hora con un tiempo disponible de verde para el carril en el que el autobús efectúa la parada si, (a) los autobuses paran en el carril de estacionamiento adyacente, y (b) si lo hacen en el carril de paso del tránsito. Supóngase que la capacidad del carril de paso es de 1,500 coches por hora de verde, y que el tiempo de verde/tiempo de ciclo, g/C, es de 0.50, lo cual supone una capacidad de 750 automóviles por hora. ¿Cuál es la pérdida de tiempo por hora en cada caso? ¿Qué porcentaje de la capacidad total del carril se necesita para la circulación de autobuses? ¿Cómo puede traducirse esto a un valor EVL?

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
b) ¿Qué modo le parece el más conveniente para satisfacer la demanda del corredor?
c) Mejore la capacidad de la ruta
d) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?

6 Los estudios de campo muestran que 15 pasajeros entran en cada autobús, y 5 salen del mismo en una parada dada en la hora punta. Suponiendo que la forma de cobro de tarifa se realiza a bordo, con una "tarifa exacta", y una sola puerta, hallar el tiempo en servicio de viajeros y el tiempo de parada en servicio a viajeros. Hallar el tiempo en servicio de viajeros si existe una puerta posterior disponible para la salida de viajeros.

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
- b) Mejore la capacidad de la ruta
- c) Considerando un incremento del 3% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?

7. Los valores siguientes representan el número de pasajeros ascendiendo y saliendo de cada autobús en una línea de autobuses determinada:

Parada núm	1	2	3	4	5	6	7	8
Pasajeros que salen (S)	0	2	2	5	8	15	25	10
Pasajeros que ascienden (A)	20	10	10	15	10	1	1	0

Los viajeros ascienden y salen por una sola puerta. Se utiliza una tarifa exacta de \$0.50. Calcúlese el tiempo de parada en servicio a viajeros en cada parada. ¿Cuál es el tiempo total de parada en servicio a viajeros para la línea? Tómese en consideración los efectos de pérdida de tiempo debido a la apertura y cierre de puertas.

Se requiere determinar con la ayuda del HCS

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
- b) Mejore la capacidad de la ruta
- c) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?

8 Los aforos de campo basados en los valores de flujo de los 15 min punta muestran que una calle del CBD soporta 4.500 viajeros en 80 autobuses, en la hora punta ¿A qué nivel de servicio se opera en esta calle?

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
- b) Mejore la capacidad de la ruta
- c) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?

9. Se desea calcular la capacidad de una línea de autobús, donde 10 personas ascienden a cada autobús, el tiempo de servicio de pasajeros es de 3 seg por pasajero, y el tiempo de despeje es de 15 seg por autobús. Se supone que las condiciones de acceso controlan el proceso. La temporización de los semáforos de la calle tiene un coeficiente g/C de 0.45.

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
- b) Mejore la capacidad de la ruta
- c) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?

10. Se construye una instalación en una zona de extrarradio para facilitar los transbordos de autobuses de alimentación a una línea de transporte colectivo ferroviario rápido. Se supone que los autobuses accederán a las instalaciones con intervalos de 1 min, y que cada autobús descargará 50 pasajeros. Esto implica un flujo total de viajeros de $(50 \text{ personas} \times \text{autobús}) \times (60 \text{ autobuses/hora}) = 3,000 \text{ personas/hora}$. El tiempo de despeje que se precisa para que un vehículo maniobra y salga de la parada, y para que otro entre, se supone que es de 20 seg.

Se desea conocer el número de paradas de descarga que deben proporcionarse suponiendo las siguientes configuraciones de los autobuses:

- Puertas de hoja única, utilización de una puerta
- Puertas de hoja única, utilización de dos puertas

Se requiere determinar con la ayuda del HCS:

- a) Capacidad de la ruta, considerando su vehículo tipo
- b) Mejore la capacidad de la ruta
- c) Considerando un incremento del 5% en la demanda de la ruta, ¿Cuál es la nueva capacidad?

X. PEATONES

X.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

En el análisis de capacidad de vías urbanas el desplazamiento de los peatones puede llegar a representar una de las variables principales, es más, las características peatonales son un factor muy importante a considerar en el proyecto y operación de los sistemas de transporte. Los movimientos de masas tienen lugar principalmente en actos públicos, en las inmediaciones y dentro de las terminales de transporte colectivo, edificios de gran altura, centros comerciales, cines, estadios, estacionamientos públicos y otros generadores importantes de viajes. Todo estudio de transporte y de tráfico multimodal debe analizar la seguridad de los peatones, así como los modelos de desplazamiento y la conveniencia de la circulación para los mismos.

La concentración de movimientos de peatones en esquinas y pasos para peatones los convierte en tramos de circulación críticos tanto para la red vial urbana como para la peatonal. Una esquina o un paso de peatones abarrotados de personas afectan no sólo a la comodidad de los peatones sino que también pueden producir demoras en los movimientos de giro de los vehículos, y por lo tanto reducir la capacidad de la intersección y calles confluentes.

Los principios para el análisis de la circulación peatonal son análogos a los establecidos para los vehículos. Las relaciones fundamentales entre velocidad, intensidad y densidad también son semejantes. A medida que la intensidad y la densidad de una corriente de circulación peatonal aumentan desde régimen libre a otras condiciones más desfavorables, disminuyen la velocidad y la facilidad de movimientos. Cuando la densidad peatonal excede un nivel crítico entonces la velocidad y la intensidad toman valores erráticos y rápidamente disminuyen.

La circulación peatonal se ve afectada por las reducciones de la anchura efectiva de las aceras debido a distintos elementos del "mobiliario" urbano, tales como parquímetros, elementos de alumbrado, buzones postales y cubos de basura, sufriendo además las interrupciones ocasionadas por los semáforos. Los ciclos de los semáforos también propician la formación de colas de peatones cuando esperan en las esquinas, y como consecuencia disminuye la capacidad de circulación de las mismas, obligando a concentrarse a los pacientes peatones en pelotones aun más densos.

El concepto de nivel de servicio (NS), inicialmente utilizado para definir distintos grados de comodidad de circulación en carreteras, también es aplicable a las instalaciones para peatones. Con esta concepción, los factores que denotan la comodidad, tales como facultad de circular a la velocidad deseada, sortear a otros peatones más lentos y evitar situaciones de conflicto con otros viandantes, se relacionan con la densidad e intensidad peatonales. Este concepto también es aplicable en forma de grados de aglomeración en zonas de formación de colas, como pueden ser las esquinas, andenes de transporte colectivo, y otras zonas de espera.

X.2 USO DEL PROGRAMA

Al entrar a esta opción, primero se piden datos para identificar la información (opción 1), como son datos referentes a la sección, analista, tiempo de análisis, fecha de análisis y otra información. El siguiente menú (opción 2) permite analizar el funcionamiento de las

banquetas o zonas para transeúntes en una intersección. Se alimentan los volúmenes de caminantes que circulan de una esquina a otra a través de las banquetas, así como el ancho de las mismas y con estos datos se obtiene el nivel de servicio de la vía peatonal, como de la circulación del pelotón.

En la opción 3 se analiza el comportamiento peatonal en las esquinas, se deben dar los volúmenes de peatones, la geometría de la intersección, en caso de existir señalización (semáforo), indicar la longitud del ciclo, así como los tiempos de verde para peatones. También es necesario indicar los anchos de las banquetas o zonas para peatones y finalmente se obtiene la densidad de ellos que se presenta en la esquina y su nivel de servicio correspondiente

En el siguiente menú (opción 4) se realiza el análisis del comportamiento de las zonas de avance por la vía por los peatones, se deben dar los volúmenes de caminantes, la geometría de la intersección, en caso de existir señalización (semáforo), indicar la longitud del ciclo, así como los tiempos de verde para peatones. También es necesario indicar los anchos de las banquetas o zonas para transeúntes y finalmente se obtiene la densidad de peatones que se presenta en la esquina y su nivel de servicio correspondiente. Un dato adicional es el volumen de peatones que cruza la vía en cada sentido de la intersección.

El siguiente menú (opción 5) permite analizar simultáneamente el comportamiento de las esquinas y de las zonas de cruzamiento peatonal (si ya se alimentaron previamente los apartados anteriores, únicamente es necesario realizar los cálculos correspondientes, ya que la información que se pide es la misma que en los puntos anteriores). El menú 6, permite analizar simultáneamente el comportamiento de los tres primeros apartados, y se obtiene el nivel de servicio de la zona peatonal. En la última opción (menú 7) es posible almacenar los datos del problema, así como imprimir el informe de resultados del problema

X.3 EJEMPLO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación:

Considérese una intersección con un volumen peatonal de 150 peatones/15 min., que circula de esquina a esquina, el ancho de la banqueta es de 10 ft. El resultado de este análisis, proporciona un NS A para la vía peatonal y un NS B para el pelotón, lo cual significa que el funcionamiento tanto peatonal como de la vía es conveniente y no se genera ningún congestionamiento peatonal y los caminantes pueden circular de forma fluida por la vía.

Para el análisis de una esquina, se considera un volumen peatonal de 100 que va de esquina a esquina de la intersección y un volumen de 50 que circula de acera a acera de la misma intersección, se tienen 10 ft de ancho de banqueta y el tiempo de verde para los peatones es de 27 seg. El NS obtenido con los datos anteriores es de B, esto significa que el comportamiento de la vía es conveniente y no se generan congestionamientos.

En el caso de la zona de cruzado de la vía, también se presenta un NS B, lo cual denota que en general el comportamiento de la intersección es el adecuado, ya que permite el flujo libre de peatones, sin que se formen congestionamientos ni demoras.

X.4 PRÁCTICAS DE USO DEL PROGRAMA

1. Seleccione una intersección semaforizada que sea conocida y tenga un flujo peatonal considerable o que dificulte el tránsito vehicular, debe obtener el volumen peatonal por periodos de 15 minutos, circulando de esquina a esquina y a través de las banquetas.

En cuanto a la geometría de la vialidad, requiere del ancho de las banquetas. De la operación del semáforo es necesario conocer la longitud del ciclo, y los tiempos de verde para el cruce peatonal.

Con esta información, se obtendrán tres diferentes grupos de niveles de servicio:

- a) Nivel de servicio para la zona de cruce peatonal
- b) Nivel de servicio en las banquetas
- c) Nivel de servicio en las esquinas

Con los datos de la intersección seleccionada se calculará con el HCS:

- a) Niveles de servicio actual para las zonas de cruce peatonal, banquetas y esquinas
- b) Mejoramiento de los niveles de servicio, considerando 3 opciones de solución
- c) Determinación de la capacidad de cada uno de los elementos
- d) Vida útil de cada elemento vial
- e) Realice un cuadro con los resultados obtenidos en los incisos anteriores
- f) En caso de incrementarse en 3% el volumen vehicular actual, cuál es su comportamiento y sus soluciones

2. Considérese una intersección con un volumen peatonal de 319 peatones/15 min., que circula sobre la banqueta, el ancho de la banqueta es de 12 ft. Considere que el 45% del total cruza por las esquinas y que el 10% no alcanza a cruzar en el periodo de verde peatonal. La relación g/C es de 0.60

Con los datos de la intersección se calculará con el HCS:

- a) Niveles de servicio actual para las zonas de cruce peatonal, banquetas y esquinas
- b) Mejoramiento de los niveles de servicio, considerando 3 opciones de solución
- c) Determinación de la capacidad de cada uno de los elementos
- d) Vida útil de cada elemento vial
- e) Realice un cuadro con los resultados obtenidos en los incisos anteriores
- f) En caso de incrementarse en 3% el volumen vehicular actual, cuál es su comportamiento y sus soluciones

3. Considérese una intersección con un volumen peatonal de 250 peatones/15 min., que cruza de esquina a esquina, el ancho de la banqueta es de 10 ft. Considere que el 85% del total camina por la banqueta y por tratarse de una zona comercial, se incorporan 120 al salir del centro comercial y que el 25% del total no alcanza a cruzar en el periodo de verde peatonal. El tiempo de verde del semáforo es de 25 segundos y el ciclo tiene una longitud de 110 seg

Con los datos de la intersección se calculará con el HCS:

- a) Niveles de servicio actual para las zonas de cruce peatonal, banquetas y esquinas
- b) Mejoramiento de los niveles de servicio, considerando 3 opciones de solución
- c) Determinación de la capacidad de cada uno de los elementos

- d) Vida útil de cada elemento vial
- e) Realice un cuadro con los resultados obtenidos en los incisos anteriores
- f) En caso de incrementarse en 3% el volumen vehicular actual, cuál es su comportamiento y sus soluciones
- g) ¿Cómo se comporta el semáforo para el cruce peatonal?

4. Considérese una intersección con un volumen peatonal de 520 peatones/15 min., que circula sobre la banqueta, el ancho de la banqueta es de 14 ft. Considere que el 65% del total cruza por las esquinas y que el 18% no alcanza a cruzar en el periodo de verde peatonal. El tiempo de verde del semáforo es de 15 seg y el tiempo de ciclo es de 70 seg.

Con los datos de la intersección se calculará con el HCS:

- a) Niveles de servicio actual para las zonas de cruce peatonal, banquetas y esquinas
- b) Mejoramiento de los niveles de servicio, considerando 3 opciones de solución
- c) Determinación de la capacidad de cada uno de los elementos
- d) Vida útil de cada elemento vial
- e) Realice un cuadro con los resultados obtenidos en los incisos anteriores
- f) En caso de incrementarse en 3% el volumen vehicular actual, cuál es su comportamiento y sus soluciones
- g) Mejore el ciclo del semáforo para el cruce peatonal

5. Considérese una intersección con un volumen peatonal de 354 peatones/15 min., que circula sobre la banqueta, el ancho de la banqueta es de 12 ft. Considere que el 62% del total cruza por las esquinas y que el 7% no alcanza a cruzar en el periodo de verde peatonal. La relación g/C es de 0.55.

Con los datos de la intersección se calculará con el HCS:

- a) Niveles de servicio actual para las zonas de cruce peatonal, banquetas y esquinas
- b) Mejoramiento de los niveles de servicio, considerando 3 opciones de solución
- c) Determinación de la capacidad de cada uno de los elementos
- d) Vida útil de cada elemento vial
- e) Realice un cuadro con los resultados obtenidos en los incisos anteriores
- f) En caso de incrementarse en 2% el volumen vehicular actual, cuál es su comportamiento y sus soluciones
- g) Mejore el funcionamiento del semáforo

7. EDUCACIÓN VIAL Y ACCIDENTES

"Por primera vez en la historia, el problema de la supervivencia del hombre tiene que ver con el control de los peligros fabricados por el hombre mismo. Antes de esto el problema había sido el control de los peligros naturales". Así se expresó el Dr. Winerman y añadió "Los automovilistas son responsables de la contaminación del aire y de la aglomeración de las ciudades y están involucrados en más de la mitad de los accidentes que incapacitan personas". Winerman y sus colegas estuvieron de acuerdo en que el automóvil era el "enemigo número 1 de la salud pública".

Aunque la acusación anterior tiene el definido propósito que sus autores quisieron darle a fin de llamar la atención sobre un grave problema, también debe considerarse que encierra una falsedad. El vehículo de motor no es un enemigo público del hombre, sino ese navio maravilloso que ha venido a facilitar su trabajo y sus actividades sociales y recreativas; no es sino uno más de los productos de su gran ingenio y continuo esfuerzo de superación, como lo son también la electricidad, el avión, el teléfono, etc., y no podemos culpar jamás al vehículo, un instrumento de materia inerte, cuando el hombre es el que lo conduce y decide lo que hace diariamente con él. Es el hombre el único enemigo de sí mismo, ya que todo lo que el ingenio humano ha llegado a producir podrá ser usado para bien o para mal, según la mente del hombre decida hacerlo.

La primera experiencia

En una revista de circulación internacional, apareció un notable artículo escrito por Paul Gallico que consiste en una carta titulada "A mi hija, al comprar su primer automóvil". Entre otros conceptos interesantes, la misiva contiene los siguientes:

"... es que te envidio enormemente la emoción de emprender tu primer viaje al volante de tu auto, ese momento en que te instales al volante, gires la llave del encendido y sientas cómo vibra la máquina; en que apliques el acelerador y, dueña de tus acciones, arranques hacia un mundo nuevo para ti..."

"Tu mejor garantía de seguridad está en mantenerte alerta en todo momento y en concentrar tu atención no sólo en lo que estás haciendo tú, sino también en lo que estén haciendo al mismo tiempo los demás, así como en tu situación con relación al camino y a los otros vehículos. Incluso llegarás a adquirir un sexto sentido que te dirá qué va a hacer otro conductor aun antes de que lo haga, y que te permitirá adoptar las precauciones necesarias.

"... tú serás la dueña y señora única de la máquina que tendrás a tu servicio, la cual estará sujeta por completo a tu voluntad. No podrá pensar por ti, ni prevenirte nunca. Ciertamente podrá gritar cuando oprimas el botón de la bocina, pero no tiene ojos ni oídos, ni será capaz de tomar decisión de ninguna especie. Te llevará al desastre tan recta y friamente como podrá llevarte a salvo a donde deseas llegar. Si le pides que haga algo desastroso, como adelantar en una curva en la carretera... te obedecerá. Si le ordenas que haga caso omiso de las señales del camino, cumplirá tus órdenes dócilmente..."

“... al volante de tu automóvil tenemos entre las manos el poder de causar incontables daños en la existencia de otras personas, si las matamos o las dejamos inválidas, si privamos a unos padres de sus hijos o a unos hijos de sus padres, y en esos casos cargamos con la culpa de dejar a algún ser humano tendido en el suelo, malherido o sin vida...”

“... Jamás deberá ocurrirte eso. A cambio de la larga lista de muertos y heridos que publican los diarios.. hay millares y millares de automovilistas que han recorrido una enorme distancia durante su vida sin haber causado el más leve daño con su vehículo. Éstos son los que saben bien que en el momento en que trasgredimos el límite de velocidad señalado, o pasamos por alto las advertencias o señales de peligro en calles y carreteras, estamos desatendiendo el buen juicio de los ingenieros que trazaron el camino, el de los peritos de tránsito que han probado ya las condiciones de seguridad en la carretera y el de los agentes de la policía que han visto a muchas personas morir en las vías públicas.

“Cuando lleves contigo a otra persona, tu responsabilidad será mayor... Desde el momento en el que alguien más viaje contigo... te conviertes en persona semejante al maquinista que va en la cabina de la locomotora, al piloto que lleva los mandos del avión, al capitán plantado en el puente de su navío. Y debemos aceptar como propias las mismas obligaciones.

“Otros seres humanos te habrán confiado su persona , y aunque no hayan pagado pasaje, tú habrás adquirido el compromiso moral de dejarlos a salvo en el lugar de su destino

“¿Y el peatón? ¿Qué decir de la pobre y vulnerable criatura que va por calles y carreteras sin ninguna caparazón de acero que la proteja? Tú misma has sido una de esas criaturas y te has visto expuesta a las insolencias y amenazas, a los desprecios y maldiciones de choferes y automovilistas, quienes se rinden a la ilusión de que el poseer un vehículo automotor les otorga el derecho de tiranizar a cuantos van a pie.

“Ahora, como conductora de tu propio automóvil, ¿recordarás el sentimiento de frustración que experimentabas cuando la corriente del tránsito no se interrumpía para cederte el paso en algún cruce? ¿O el terror que te acometía cuando algún apresurado automovilista se te echaba encima.. ?

“Mayor aun será tu responsabilidad cuando se trate de niños, y deberás estar dispuesta a aceptarla. No faltarán chiquitines que se aparten repentinamente de su madre para lanzarse a la mitad de la calle; otros, algo mayores, que se precipiten al arroyo en persecución de la pelota que se les escapó; otros también que crucen la vía montados torpemente en bicicletas. Me limitaré a señalarte una regla que yo he seguido siempre: cuando pases a cierta distancia de uno o varios niños, retira el pie del acelerador y pásalo al de los frenos. El segundo que se gana así al detener la marca, puede ser bastante para salvar la vida de una criatura.

“...jamás olvides que al volante de tu automóvil irá siempre un ser humano, es decir, un ser falible, y que esta persona serás tú. .”

Se antoja que estos sencillos pero sabios consejos de Gallico fuesen recibidos por todos lo que adquieren su primera experiencia de manejo. Desgraciadamente, lo que muchas veces sucede es el caso del que se inicia en el manejo de vehículos sin la menor

orientación, sin consejos que lo guíen, y, demasiadas veces, sin el adiestramiento indispensable.

Requisitos para no tener problemas

La meta debe ser muy clara, muy precisa: el vehículo de motor es un medio para facilitar nuestro trabajo y nuestras actividades diversas, es un instrumento para vivir mejor. La única meta debe ser la de usarlo en la forma más segura y eficiente. Debe verse al vehículo de motor como un medio y no como un fin; como un medio útil de traslado y no expresión de personalidad y posición económica.

Para lograr esta meta y tener la satisfacción de ser un conductor de gran calidad, es necesario cumplir con las "reglas del juego", ya por muchos conocidas.

En primer lugar, debemos tener plena conciencia de lo que es el vehículo de motor y de lo que deseamos sacar del mismo. El mayor conocimiento de lo que debe hacerse y lo que no debe hacerse en el vehículo nos permite valorarlo en forma realista. Además, debemos estar conscientes de que cada conductor individual forma parte de una situación compleja al introducirse a la corriente de vehículos, a la circulación vial. Por lo tanto, el disfrute de su vehículo dependerá de muchos factores externos, como el comportamiento de los otros conductores y también de los peatones. Sin embargo, nuestro comportamiento personal y la actitud mental serán fundamentales.

En segundo lugar, debemos tener muy presente que el tránsito de vehículos, el transporte de personas y bienes y la convivencia sana de conductores y peatones, solamente son posibles si se cumplen y obedecen las normas, leyes, reglamentos y dispositivos de control que han sido establecidos para el uso correcto del espacio disponible en calles y carreteras. Sin la existencia de estos medios legales y técnicos, el tránsito de vehículos sería imposible, existiría el caos y la paralización, habría muerte y fricciones personales más allá de lo que cualquiera se puede imaginar.

En tercer lugar, debemos ser capaces de formar parte de la era motorizada, a través de una adecuada preparación teórica y práctica. El conocimiento de los elementos de tránsito (usuario, vehículo y camino) harán de cada ciudadano un mejor conductor o un mejor peatón. Un adiestramiento debido en la conducción de vehículos, en su conservación, en las medidas que deben tomarse con los pasajeros y con la carga, serán la mejor garantía para el disfrute del vehículo. En forma especial, la preparación del individuo en la era motorizada debe incluir la capacidad de reconocer las situaciones conflictivas, los peligros y los riesgos que existen en el tránsito. Cuando tenga esa capacidad de reconocer las situaciones conflictivas, los peligros y los riesgos que existen en el tránsito. Cuando tenga esa capacidad, lo mismo como conductor que como peatón, estará en la mejor posición para disfrutar de su vehículo.

Veamos ahora algunas formas en que podemos disfrutar más del automóvil particular, ya que forma parte de muchas familias del mundo.

¡Qué maravilloso es cuando un vehículo no falla nunca! Pero cuántos cuidados y paciencia son necesarios para que esto sea así. Sin embargo, con sistema y orden toda persona logrará hacerlo en forma automática y fácil.

Cada vez que use su vehículo debe estar seguro de lo siguiente:

Las llantas deben tener la presión correcta, suficiente dibujo en el piso y carecer de cortes o grietas; esto se aplica también a la de refacción.

El parabrisas y las ventanillas deben estar limpios.

El pedal del freno debe quedar cuando menos a cinco centímetros del piso, cuando se pise a fondo.

Los indicadores de gasolina, aceite y alternador deben funcionar perfectamente.

El asiento debe quedar ajustado a su estatura.

Todas las puertas deben estar bien cerradas.

Los dos espejos retrovisores deben estar en posición correcta y limpios.

Las luces direccionales y del freno deben funcionar correctamente

El antiempañador del parabrisas debe estar en orden. Todas las luces deben encender y tener los niveles aconsejados por la fábrica.

Los limpiadores del parabrisas deben operar adecuadamente.

El automóvil debe llevar las herramientas mínimas indispensables para un cambio de llanta o para la revisión rutinaria en casos de falla mecánica leve, así como señales preventivas (reflejantes o luminosas) para avisar a los demás conductores si tiene que pararse por una emergencia.

Cumpla con estos sencillos requisitos, acostumbrándose a exigirlos de sí mismo y no le ocurrirán sorpresas o incidentes desagradables.

7.1 ACCIDENTES Y SUS CONSECUENCIAS

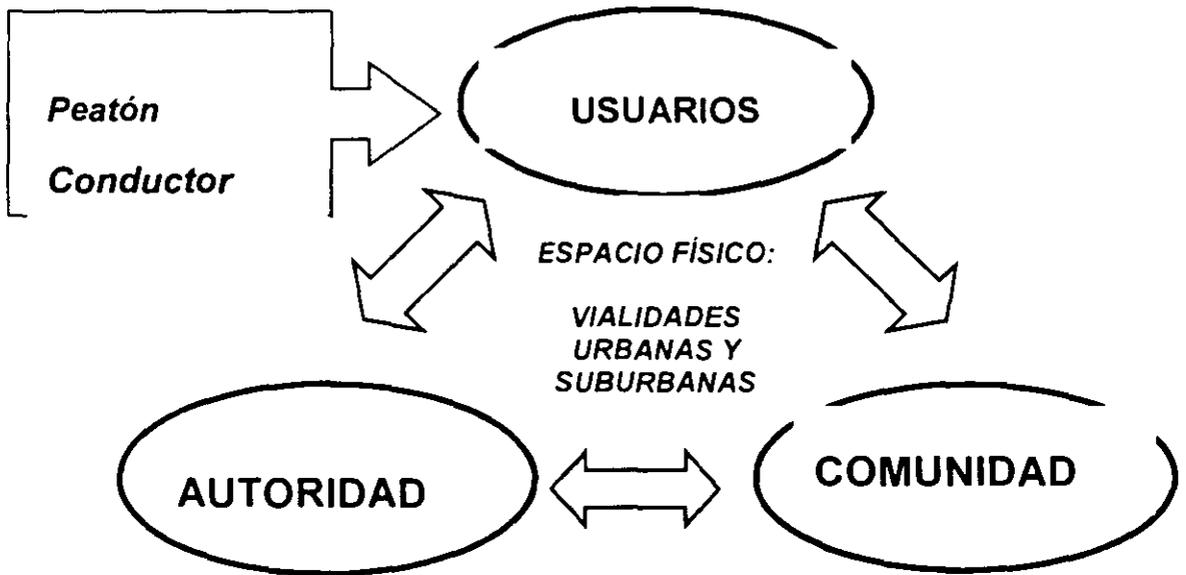
Como cualquier actividad urbana, la movilidad impuesta ante la necesidad de desplazamiento en vehículos de transporte, sean automóviles particulares o para el transporte de pasajeros y traslado de mercancías, debe realizarse a través de un espacio físico conocido como vialidades urbanas.

Esta dinámica de tránsito de vehículos es un elemento más del medio a través del cual se satisfacen las necesidades de desplazamiento, es decir que los automotores constituyen un componente del sistema, siendo importante la consideración de que no es el único componente, ya que debe convivir armónicamente con los peatones y habitantes, así como con las actividades propias del suelo urbano como el abasto, comercio, recreación, y empleo entre otras.

Aun en zonas donde no se localizan conglomerados urbanos, como las carreteras y autopistas que en la mayoría de los casos están confinadas por el diseño propio de la infraestructura, debemos reconocer la existencia de actividades que van más allá de simplemente circular sobre la superficie de rodamiento, tal es el caso de la operación de accesos vehiculares, entronques, estacionamiento lateral, condiciones climatológicas,

calidad de la superficie de rodamiento, composición del tránsito, y la propia velocidad de circulación, variables que en su conjunto tipifican la operación de cada tramo vial.

MEDIO URBANO: INFRAESTRUCTURA DE VIALIDADES
PRIMARIAS, SECUNDARIAS Y LOCALES



DINÁMICA DEL ESPACIO
VIAL:

Empleo Abasto
Servicios Recreación

VARIABLES EXTERNAS:

Estado del Tiempo
Visibilidad

La conclusión al respecto, es que ante la concentración de usuarios en un espacio físico, se requiere el establecimiento de normas de operación que permitan asegurar esta convivencia armónica de vehículos, peatones y habitantes que concurren en una vialidad, a efecto de prevenir la ocurrencia de accidentes.

Las dos consecuencias principales del problema del tránsito lo constituyen los accidentes y el congestionamiento. De ellos, el primero es de orden vital y por eso de gran importancia, ya que significa grandes bajas entre la población, por el resultado en muertos y heridos, además de la pérdida económica.

No obstante que en todas las ciudades urbanas del mundo se cuenta con leyes, normas y reglamentos para controlar las condiciones en que el tránsito vehicular deba operar, la inobservancia del mismo y en algunos casos condiciones climatológicas, deterioro de la infraestructura, o diseño deficiente de la misma contribuyen a la ocurrencia de accidentes de tránsito, donde se ven involucrados vehículos automotores.

Clasificación de accidentes.

Por accidente de tránsito, entendemos la presencia de uno o varios vehículos automotores, que se ven involucrados en un percance de colisión, sea contra objetos fijos, objetos móviles o seres humanos, donde en consecuencia se registran daños materiales, lesiones, y a veces pérdida de vidas.

Por el tipo de colisión o daños que se registran en un percance, los accidentes se clasifican en.

- Alcance
- Colisión múltiple.
- Choque lateral
- Choque de frente
- Atropellamiento
- Salida del camino
- Volcadura.
- Caída de pasajero.
- Otros.

Asimismo la gravedad del accidente se califica como:

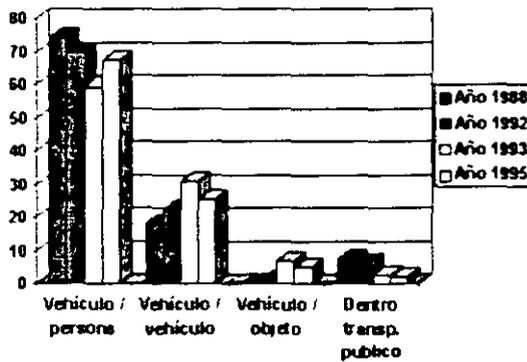
- Daños materiales.
 - En vehículos.
 - Vehículos e instalaciones.
 - Vehículos, instalaciones y propiedades
- Daños a la integridad de las personas:
 - Lesiones visibles.
 - Lesiones no evidentes.
 - Pérdida de vidas humanas.

Adicionalmente, las causas de accidentes son atribuibles al:

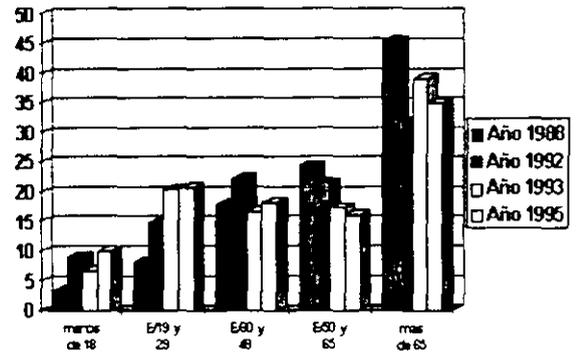
- Peatón
- Conductor
- Pasajero.

- Vehículo.
- Vialidad

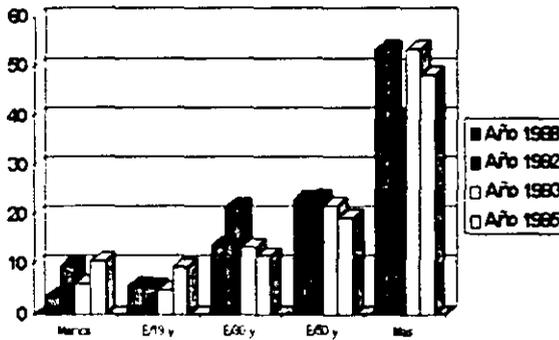
Modo de producción del hecho



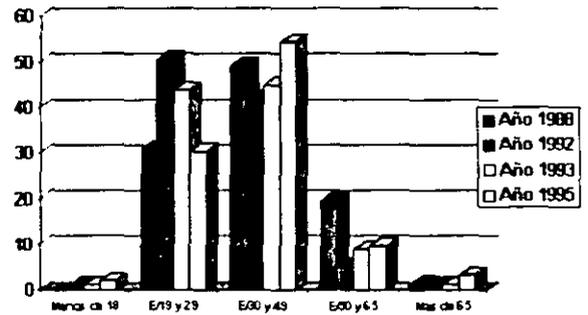
Edad de las víctimas



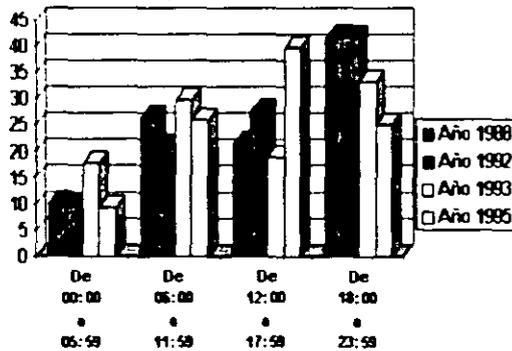
Edad de las víctimas peatonales



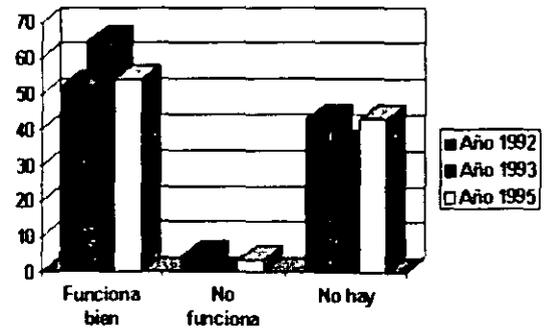
Edad de los imputados en los atropellamientos



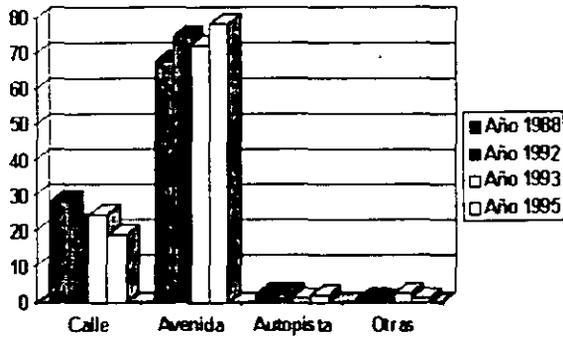
Hora en que se producen los atropellamientos



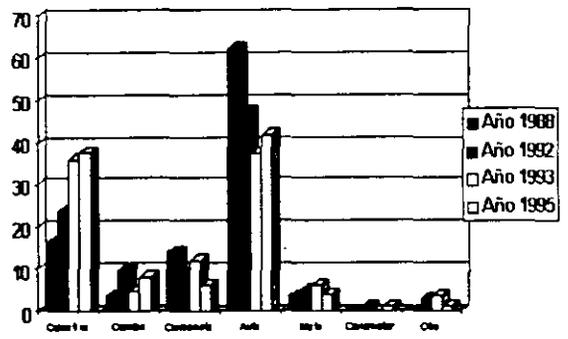
Semáforos en intersecciones en las que hubo atropellamientos



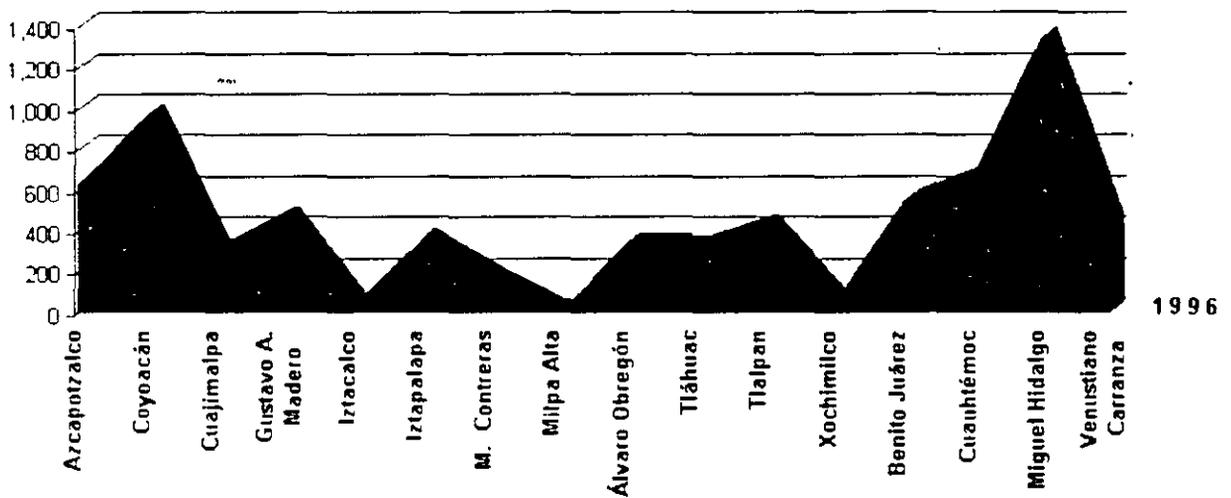
Tipo de Arteria en atropellamientos

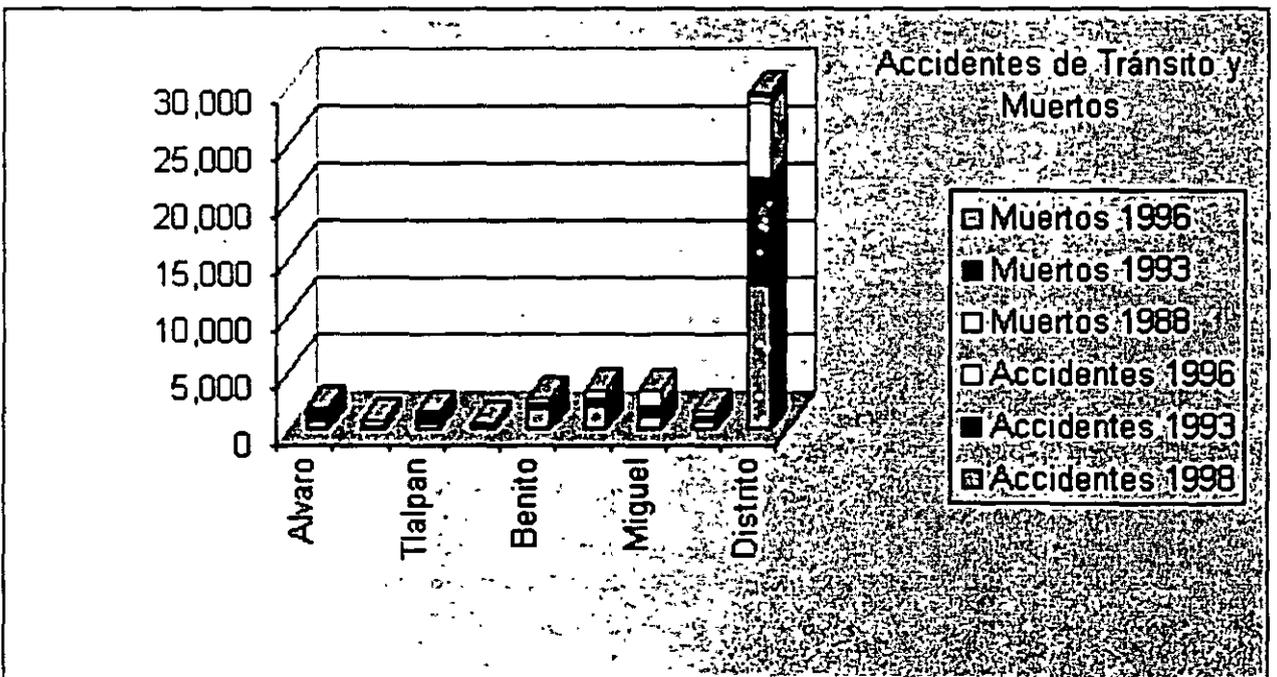
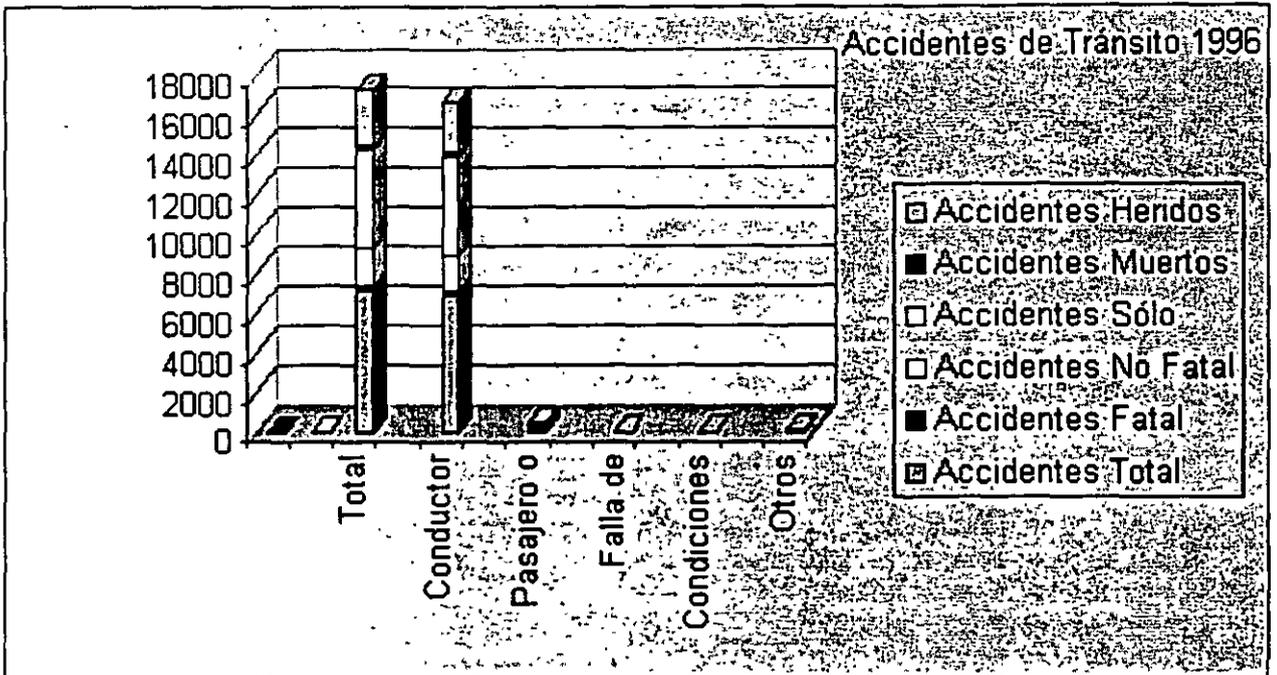


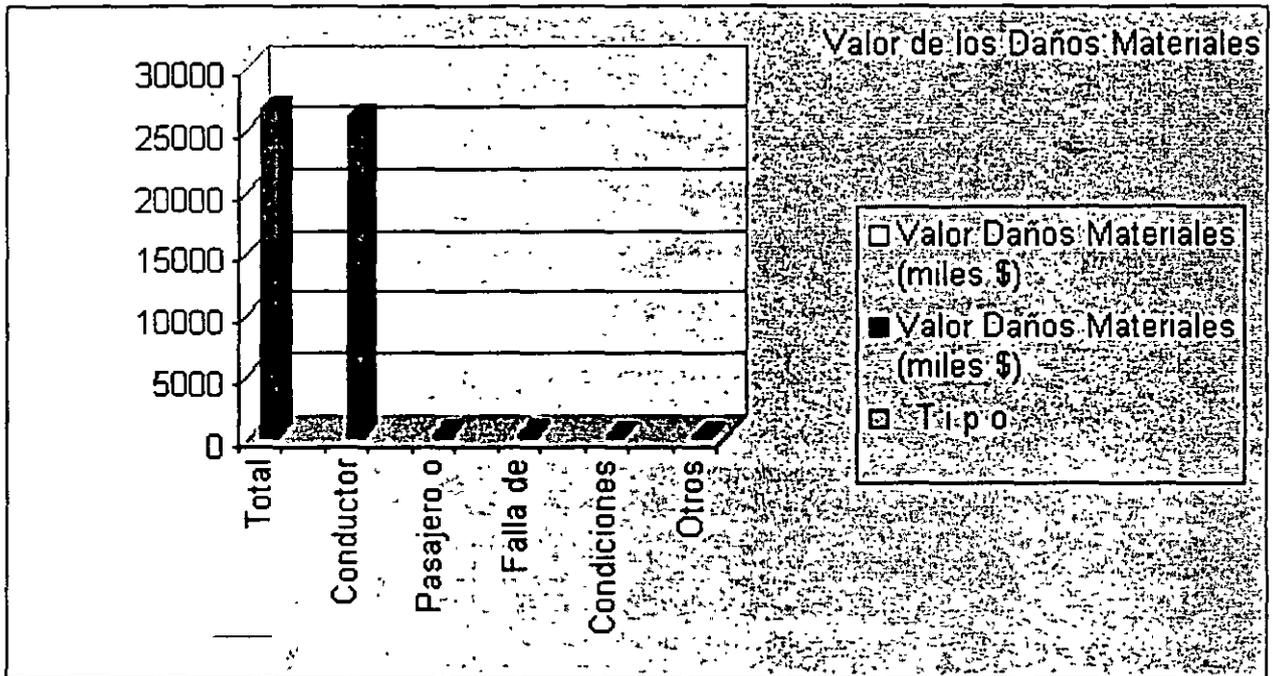
Vehículo del Imputado en atropellamientos



ACCIDENTES DE TRÁNSITO REGISTRADOS ANTE LAS AGENCIAS DEL MINISTERIO PÚBLICO







Los datos estadísticos anteriores nos llevan a concluir que en materia de accidentes no existen reglas generales, mas bien el conocimiento de la regularidad y tipificación de los mismos permiten identificar las causas probables, dependiendo de las condiciones prevalecientes en el lugar de percance, y esto es especialmente importante cuando se involucran lesionados y muertes, que son delitos que se persiguen de oficio, y conllevan la necesidad de dictaminar pericialmente por expertos en la materia las causas probables, que permitan en su caso identificar quien o quienes de los involucrados violaron las disposiciones reglamentarias de control, atentando, contra la armonía, seguridad e integridad física de los usuarios de la vialidad.

Cabe destacar que también son concurrentes algunas causas externas a los conductores, peatones o pasajeros del transporte, pero que de no observarse y aclararse con la debida precisión, dan la pauta para señalar erróneamente responsabilidades a los individuos, como ejemplo de lo anterior tenemos:

- Deterioro de la vialidad, pavimento, o dispositivos de control del tránsito (topes, baches, señales borrosas, semáforos descompuestos etc.).
- Deficiente visibilidad, combinada con insuficiente o deficiente señalización del limite de velocidad permitido (como intersecciones con secciones reducidas de banquetas, presencia de árboles y postes etc.).
- Condiciones meteorológicas adversas que disminuyen las condiciones de seguridad del diseño de la vialidad (lluvia, niebla, granizo, etc.).
- Obstrucciones temporales no evidentes (reflejo de luz en aparadores, estacionamiento en la vía pública en ciertos horarios etc.).
- Composición del tránsito vehicular de alto riesgo (como presencia de un alto índice de motocicletas, peatones etc.).

- Inexistencia de dispositivos de control de tránsito en vialidades con características particulares (como intersecciones no semaforizadas, pendientes sin señalamiento, calles de doble sentido sin marcas en el pavimento etc.).
- Inexistencia o deterioro de las áreas de tránsito peatonal (banquetas o acotamientos).
- Deficiencias en el diseño de la vialidad que contribuyen a rebasar las normas de seguridad (pendientes pronunciadas, falta de drenaje pluvial, falta de bombeo en la pendiente transversal etc.).
- Otras.

Es claro que las deficiencias mencionadas en la mayoría de los casos no excluyen a conductor de la responsabilidad de conducir con precaución, pero también es cierto que muchos accidentes resultan inverosímiles donde se aprecian como ejemplos: "...no se transitaba con exceso de velocidad y ocurrió una volcadura...", o bien "...se atropella a peatones de la tercera edad a plena luz del día...".

Podremos concluir en consecuencia, que la cantidad y calidad de información que se logre captar en los minutos posteriores a la ocurrencia del accidente es de vital importancia para la elaboración del dictamen pericial, de tal modo que esta actividad de levantamiento de datos debe constituir una cultura de información confiable y de primera mano, como el debido soporte para la elaboración del peritaje.

Estudio de Accidentes

Siguiendo los pasos lógicos en el estudio de este problema, se ha encontrado conveniente determinar tres importantes datos, a saber

- Causa aparente de los accidentes
- Falla operacional
- Magnitud del problema

Será necesario encontrar o determinar ciertas relaciones que permitan conocer el cuadro completo en el aspecto de accidentes. Es necesario relacionar los accidentes con las causas aparentes y reales, los tipos de accidentes, la frecuencia, la ubicación, etc.

Del uso correcto de los datos recopilados, o sea la estadística, se destacan los datos ya enunciados y que será auxiliar insustituible en la labor preventiva.

Cédula de levantamiento de datos.

En el Estado de México se aplica una cédula de 2 páginas que pretende recopilar la mayor cantidad de información posible por las autoridades de tránsito, con fines de soporte para la toma de decisiones y para captar información estadística, pero ciertamente el vínculo institucional entre dichas autoridades y el poder judicial no siempre es oportuno, y regularmente propicia que las cédulas no estén debidamente requisitadas por el operativo de tránsito que tuvo conocimiento del percance, y consecuentemente este instrumento no sea de un elevado grado de confiabilidad, lo cual limita la actuación del perito para la elaboración del dictamen correspondiente

También ocurre en ocasiones que las actuaciones del Ministerio Público no son tan oportunas, de tal modo que al constituirse en el lugar de los hechos el tiempo transcurrido y las variaciones en las condiciones meteorológicas o de operación de la vialidad, propician que se pierdan datos valiosos para la reconstrucción virtual del percance; por estos motivos, **vaya la mas amplia recomendación de aplicar y requisitar de la manera mas minuciosa posible la cédula de levantamiento de datos.**

T A B L A 1

SINTESIS DE DATOS QUE SE RECOPIAN EN LA CÉDULA DENOMINADA "REGISTRO DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO" EN EL MUNICIPIO DE HUIXQUILUCAN MÉXICO.

- Fecha y día de la semana.
- Datos del operativo de tránsito y patrulla que tomó conocimiento del percance.
- Cantidad y tipos de vehiculos participantes.
- Monto estimado de daños materiales.
- Cantidad de personas lesionadas o muertas.
- Tipo de accidente.
- Controles de tránsito existentes.
- Tipo de vialidad.
- Localización sobre la via.
- Daños a las instalaciones o propiedad particular.
- Trayectorias de los vehiculos antes del accidente.
- Diagrama del accidente y simbologia aplicable.
- Causas Aparentes:
 - Atribuibles al conductor
 - Atribuibles al peatón
 - Desperfecto en los vehiculos
 - Deterioro de la vialidad
- Daños visibles en cada vehiculo
- Daños no visibles detectados en cada vehiculo.
- Nombre, domicilio y licencia de los conductores
- Servicios médicos que concurrieron al lugar.
- Instituciones médicas donde fueron trasladados los lesionados.
- Peatones y ocupante de los vehiculos, lesiones y atención otorgada.
- Nombre, domicilio y teléfono de los testigos presentes.
- Observaciones

Reglas para manejar

Para manejar en autopistas sin tener accidentes se requiere adoptar una actitud mental correcta, considerando que no se trata de un camino o calle comunes y que forma de manejar debe ser diferente. El solo hecho de pensar que la situación es diferente deberá ser de gran ayuda. Se recomienda usar un mapa de carreteras y planear anticipadamente el recorrido.

No se deben usar las vialidades si el vehiculo no esta en buenas condiciones mecánicas y con suficiente combustible, agua, etc, sin olvidar buenas llantas

Considere que habrá en las vialidades ciertos conductores no muy preparados para este tipo de caminos y que debemos cuidarnos de ellos.

Recuerde que es más importante para los fines de nuestro viaje y para nuestra seguridad y la de los demás, sostener una buena velocidad, que llegar a velocidades extremas, que solamente producirán ahorros de tiempo insignificantes.

No maneje con sueño o cansado. Pero si ha de manejar, debe combatir enérgicamente la somnolencia, en caso de presentarse. Use el radio para mantenerse alerta, oyendo música o noticias. Mastique chicle para ayudar a despejar la mente, especialmente después de comidas pesadas. Ensaye también cantar o chiflar, sentarse en algo más duro, quitarse el zapato derecho, etc.

Conserve la distancia adecuada con el vehículo de adelante. La distancia variará de acuerdo con la velocidad de marcha. Recuerde la receta de guardar una distancia aproximadamente igual a la longitud de un automóvil por cada 15 km/h de velocidad. A velocidades normales de autopista se requiere una distancia mínima de 6 longitudes de automóvil. Cuando se acerque a menos de 150 m de la parte trasera de un vehículo, baje sus luces.

Efectúe rebases únicamente cuando se tenga la distancia de visibilidad necesaria y cuando el otro conductor se haya dado cuenta de que lo va a rebasar.

Use siempre los cinturones de seguridad

Sea previsor. No aplique los frenos o cambie de curso intempestivamente. Avise con tiempo todos sus movimientos.

Deténgase únicamente fuera de los carriles de circulación, en caso de una emergencia

No mantenga las ventanillas cerradas si existe la menor sospecha de fugas de monóxido de carbono hacia el interior del vehículo.

Evite los reflejos molestos con buenos anteojos contra el sol.

Concentre los cinco sentidos para manejar, poniendo ambas manos al volante, una frente a la otra en sentido horizontal, reduzca la conversación, piense en las acciones que realizarán los demás y tenga siempre presente que se forma parte de una corriente de tránsito.

No maneje si ha bebido licor o ha ingerido somníferos. Tampoco intente mantenerse alerta con pastillas: si las necesita, no maneje.

Por último, debemos recordar siempre que nuestros actos en el camino influirán en los demás, para bien o para mal. Demos siempre el ejemplo de buen manejo, destreza, cortesía y sentido común.



CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO

**TEMA: PAQUETERÍA DE COMPUTO APLICADA A LA
OPERACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO**

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

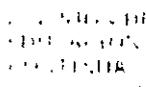
EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004





PAQUETERÍA DE CÓMPUTO APLICADA A LA OPERACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO

M.I. MIRIAM EVELIA TÉLLEZ BALLESTEROS

OBJETIVO.

Proporcionar los sistemas computacionales para la planeación y operación del transporte urbano, que faciliten y agilicen la toma de decisiones en materia de vialidad y transporte

TEMARIO

1. SISTEMA PARA EL ANÁLISIS DE CAPACIDAD

En este sistema, denominado Highway Capacity Software (HCS) se programan los procedimientos y metodologías para realizar diseños de capacidad, todos estos elementos fueron emanados de una amplia gama de investigaciones empíricas desarrollados desde mediados de la década de los sesenta y ha tenido una serie de actualizaciones hasta la fecha. Los procedimientos reflejan la experiencia operativa en vialidad y transporte urbano.

Para el entendimiento de este sistema, se explicarán todos los elementos que tienen que ver con capacidad vial, desde el tipo de vialidad, hasta los elementos que involucran los análisis de capacidad como son la velocidad, densidad, volumen, geometría de la vialidad, tipo de conductor, tipo de unidad, entre otros factores.

Los procedimientos básicos del sistema están organizados de acuerdo a los tipos de infraestructura, clasificándose en circulación continua: sistemas de autopistas, carreteras multicarril y de dos carriles de tipo rural, así como estructuras de circulación discontinua: intersecciones reguladas con y sin semáforos, arterias e instalaciones para el transporte colectivo y peatonal.

2. PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE DEMORAS

El tiempo de viaje es el factor más importante que define la calidad del servicio de transporte. FLOW es un programa desarrollado para estimar los impactos anuales que generan las congestiones en las autopistas urbanas en términos de viajes congestionados, demoras al automovilista y exceso en el consumo de combustible (causado por las deficiencias geométricas y tránsito pesado).

3. ANÁLISIS DINÁMICO DE LÍNEAS DE ESPERA

El dQUEUE es un programa que se usa para realizar la simulación de demoras y de formación de líneas de espera. Este programa está basado en el modelo de simulación de Monte Carlo, así como en la teoría de flujo de tránsito; simula gráficamente por medio de animación, el movimiento de cada vehículo al aproximarse a una caseta de cobro. El

usuario del sistema, puede observar la formación y disipación de las líneas de espera de vehículos en el monitor de la computadora. El programa considera varios factores que afectan el desarrollo de la línea de espera, entre otros, volúmenes de tránsito, tasas de servicio, maniobras, tipos de operaciones, etc., durante la simulación se calculan diversas medidas de efectividad, tales como retrasos, tamaños de líneas de espera, niveles de servicio, etc.

4 PROGRAMA PARA LA TOMA DE DECISIONES

El programa ROADSIDE es una herramienta de cómputo para la ingeniería de diseño y toma de decisiones en proyectos carreteros. Ayuda al diseñador a seleccionar la alternativa que ofrece mayores beneficios en seguridad a los usuarios, por eso, el principal objetivo del programa es obtener los costos por accidentes, tanto en daños por reparación de la infraestructura dañada por un accidente, como el costo del mismo accidentes y con estos datos, considerar por año lo que es necesario pagar para cubrir el costo del proyecto en su vida útil, desde su instalación, mantenimiento, costo de salvamento del proyecto y finalmente considerar los posibles gastos por accidentes y reparación del daño.

5. MODELO DE ESTIMACIÓN DE MODOS DE VIAJE

La distribución o selección es el paso final del proceso de proyección de la demanda por transporte. Su objetivo es estimar los flujos de cargas o pasajeros entre las parejas de zonas de tránsito, para cada modo de transporte analizado.

El MODE CHOICE es un modelo de estimación de viajes de trabajo, basado en la técnica APRA la estimación de los modos de transporte para los viajes de trabajo. El modelo, considera tres modos: viajar solo en automóvil, automóvil compartido y transporte público. El modelo estima estas opciones basándose en atributos de los viajes poblacionales (ingreso por familia, contar con auto propio, etc.) y también considera atributos de las elecciones de viaje disponibles (tiempo de viaje, costo, etc.).

El modelo tiene una forma "logit" Los atributos de cada modo son establecidos por el modelo, y la utilidad relativa de cada modo se estima en función de los modos existentes en el mercado.

6 Modelado y optimización de señales de tránsito

Uno de los modelos más completos para el modelado y optimización del funcionamiento de señales de tránsito es el Synchro, ya que además de generar análisis de capacidad, apoya la coordinación de un sistema/arteria semaforizada y proporciona el diagrama de tiempo/espacio del sistema o de la intersección. Con ayuda de este sistema es posible analizar el comportamiento integral de un sistema vial, proporcionando toda la información que facilite la toma de decisiones. Además, el sistema proporciona datos muy importantes en ingeniería de tránsito, incluyendo el nivel de servicio y la capacidad vial, tales como las emisiones por tipo de contaminantes generadas, tiempos de espera y costo de esos tiempos para los usuarios.

Es un sistema completamente gráfico, muy amigable y fácil de usar, además de que es compatible con programas como el Autocad

7. Sistema integrado de programas de Tránsito

Este sistema integra cuatro modelos TSIS, CORSIM, TRAFVU, TRFUpdate, que al funcionar conjuntamente, permiten conocer el funcionamiento en tiempo real de un sistema de transporte, ya que la simulación del sistema puede ser completamente controlada por el usuario. Inclusive, el sistema simula redes viales o una parte del sistema.

El sistema es muy amigable, aunque para su manejo se requiere de la programación de algunas tarjetas que modifican los factores con que se alimenta al programa.

8. TRANSCAD. Sistema de Información Geográfica (GIS) (sólo en caso de contar con el sistema)

Los GIS son fundamentalmente instrumentos técnicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados en primera instancia para inventariar información geográfica, la cual a su vez alimenta las funciones de análisis con que están equipados, para convertirse en herramientas útiles a las labores de administración.

TRANSCAD es un revolucionario sistema para la administración y análisis de información de transporte. TRANSCAD permite visualizar todos los tipos de transporte, relacionados con sus datos geográficos en una forma más amigable, ya que combina una serie de elementos para facilitar el mapeo digital, la administración de datos geográficos y la presentación con herramientas gráficas para proyectos de transporte, investigación de operaciones y modelos estadísticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de Capacidad de Carreteras. 1985 y 1995. Special Report 209, Transportation Research Board, Washington, D.C.
2. Ingeniería de Tránsito. 1994. Rafael Cal y Mayor & Cárdenas. Ed. Alfaomega. Mexico
3. Aplicación de Paquetería de Cómputo a la resolución de problemas de transporte. 1998. Tesis de Maestría.
4. Estudios de Ingeniería de Tránsito. 1994. SEDESOL. México.

HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES: ¿PORQUÉ SU USO EN EL TRANSPORTE?

1. INTRODUCCIÓN

El transporte es un factor fundamental en la cohesión social y económica de cualquier urbe moderna, esto lo convierte en un instrumento básico en la planeación del desarrollo y en una actividad estratégica para el país. En este sentido, las aplicaciones de las computadoras forman una parte integral del proceso de planificación, manejo y control del transporte y redes viales.

En el presente documento se da una semblanza de la introducción de los sistemas de cómputo a la planeación de los sistemas de transporte, refiriéndose a las primeras aplicaciones que se llevaron a cabo y a las aplicaciones que se han realizado recientemente. El propósito es analizar la aplicación de las herramientas computacionales en la solución de los problemas de transporte, en el mejoramiento de los sistemas existentes y en la planeación de los futuros, en este sentido se reconoce que el manejo de este tipo de herramientas facilita la toma de decisiones en los proyectos, así como, es posible plantear una gama de soluciones factibles a un problema de transporte.

2. USO DE PROGRAMAS PARA COMPUTADORA EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE

Las aplicaciones de las computadoras forman una parte integral del proceso de planificación del transporte y redes viales y los avances en los últimos 35 años en este campo en varios países, han ido invariablemente paralelos con la evolución de la tecnología de las computadoras. Sin el auxilio de la computadora el análisis de grandes cantidades de datos se convertiría en una tarea laboriosa y requeriría de una gran cantidad de tiempo que, en algunos casos, podría impedir su realización en plazos razonables. La solución de los diferentes modelos en los procesos de simulación pueden ser calibrados, completa y satisfactoriamente, sólo con el uso de computadoras.

2.1 PRIMERAS APLICACIONES

La primera aplicación de las computadoras al proceso de planificación de un sistema de transporte, fue relativa a la tabulación de la información recopilada en estudio de campo. Sin embargo, al aumentar la capacidad de almacenamiento fueron reducidas las dificultades de programación y la computadora fue utilizada para resolver los primeros modelos de distribución de viajes tales como el de Fratar, Detroit y modelos de los factores de crecimiento, de regresión múltiple, electrostático y de oportunidad.

Para el año de 1962 el proceso de planeación disponía de un paquete completo de programas aplicados a modelos de distribución y asignación, así como para los análisis de datos completos.

En las etapas iniciales la fabricación de grandes computadoras permitió llevar a cabo cálculos y manejo de datos a altas velocidades, lo cual ha tenido un efecto muy marcado en el campo de la planeación. El desarrollo reciente de lenguajes de programación más poderosos permiten al planificador escribir sus propios programas. La gran capacidad de almacenamiento asegura que las redes viales complejas, puedan ser estudiadas con relativa facilidad.

El proceso de planeación utilizando computadoras no solo incluye el análisis de datos de estudios de campo y la estimación de la demanda para la realización de viajes, sino que pueden realizarse evaluaciones de sistemas de transporte alternativos, con el propósito de jerarquizar los diferentes proyectos.

El entendimiento de las relaciones entre las técnicas de cómputo y la planeación de sistemas de transporte es necesario así como el conocimiento de los elementos básicos de una computadora y el procedimiento para proporcionar las instrucciones a la máquina. Pero jamás deberá soslayarse el entendimiento y comprensión cabal de los conceptos, teoría y principios del proceso de planificación de los sistemas de transporte que constituye el enfoque medular del fenómeno de la movilidad urbana y regional.

La clasificación de los programas de cómputo empleados en Transporte, se pueden dividir en función del problema a solucionar:

- a) *Programas para análisis de datos de campo.*- Antes del advenimiento de los computadores, estos datos eran procesados manualmente o usando tabuladores de tarjetas perforadas. Por consecuencia existían limitaciones severas en los estudios que pudieran ser realizados. Actualmente la aplicación de las computadoras ha simplificado las labores del planificador.
- b) *Programas para generación de viajes.*- Dos métodos básicos están actualmente en uso para el pronóstico de generación de viajes: los que se basan en el análisis de regresión lineal múltiple y los que se apoyan en el análisis por categorías (también llamado análisis cruzado). Los programas para regresión múltiple se obtienen generalmente de paquetes estadísticos
- c) *Programas para distribución de viajes.*- El problema de estimar el flujo de tránsito interzonal es de gran importancia en el proceso de planeación y ha sido elaborado un grupo numeroso de modelos para distribuir los movimientos entre las diferentes zonas

Sin embargo, los modelos básicos usados ampliamente son el modelo gravitacional, los modelos de factores de crecimiento (Fratier o Furness), de programación lineal y de oportunidad que tiene una base probabilística.

- d) *Programas para repartición de viajes en los modos de transporte.*- Tres tipos de conceptos matemáticos han sido usados para construir modelos estocásticos utilizados en la repartición modal y son: análisis discriminante, análisis probit y análisis logit. De un estudio realizado por Stopher y Lavender se concluye que el análisis discriminante fue inferior al análisis probit o logit, sin embargo no encontraron una distinción señalada entre el probit y el logit. El análisis probit consume un mayor tiempo para su proceso de calibración que el análisis logit, por lo que los autores recomiendan el análisis logit como la técnica preferida para estos modelos.
- e) *Programas para asignación de tránsito* - La asignación de tránsito intenta predecir como será repartido un volumen de tránsito, clasificado en individual y colectivo en un sistema vial de una zona urbana o región. Actualmente se dispone de los siguientes procedimientos con sus correspondientes programas de computadora: Modelo absoluto (All or Nothing), Modelo a base de curvas de desviación, Modelo de capacidad restringida, Modelo de asignación de rutas múltiples y Modelos de programación lineal.

2.2 APLICACIONES RECIENTES

Las aplicaciones recientes para el modelado en la planeación del transporte urbano con base en computadoras personales incluye:

- a) Trabajos nuevos o revisiones minuciosas sobre enfoques para análisis de impacto local
- b) Evaluaciones de estrategias para administración de demanda de viajes
- c) Integración de modelos de planeación de transporte con los sistemas de información geográfica
- d) Modelación de interacciones simultáneas de transportación- uso de suelo
- e) Introducción de interfases gráficas, uso más accesible de los programas, manejo más versátil y una mayor integración de los mismos

Las microcomputadoras personales constituyen actualmente una excelente herramienta para el análisis de impacto local, los cuales se aplican en escalas geográficas limitadas y frecuentemente requieren ser concluidos rápidamente. Los modelos de hojas para cálculo electrónico, permiten al analista introducir datos de uso de suelo directamente.

Los modelos de pronóstico para la demanda de viajes regionales a gran escala también pueden ser usados para análisis de impacto local dividiendo las zonas grandes en zonas más pequeñas y agregando más arcos a la red en la vecindad inmediata al lugar en estudio

Actualmente existen pocas combinaciones de modelos de transportación con sistema de información geográfica, aunque es muy conveniente su uso, como se ha probado en otros países como Japon, Estados Unidos, Canadá y Europa, donde combinados con sistemas de posicionamiento geográfico, controles del flujo vehicular, detectores y otros elementos se han creado centros de control del tránsito integrales, de tal modo que porporcionan información en tiempo real al usuario y facilita el manejo de los congestionamientos. Esta combinación de elementos se conoce como Sistemas de Transporte Inteligente.

Los japoneses y los Europeos han advertido que realizan mayores avances en los modelos de interacción transporte-uso de suelo que los Estados Unidos. Estos modelos pueden ser de un gran uso para los países en proceso de desarrollo que experimentan rápidas urbanizaciones donde los recursos financieros son escasos y las inversiones para utilidad pública y transporte colectivo pueden conducir a expansiones urbanas inapropiadas a lo largo de las rutas.

2.3 PROGRAMAS PARA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE EN MICROCOMPUTADORAS PERSONALES

En el mercado existe una gran variedad de programas de computadora que facilitan el proceso de planeación, la mayoría de ellos manejan el concepto de control de tránsito, el cual da la pauta para una filosofía más amplia conocida como Manejo de Sistemas de Transporte (MST), cuyo propósito no solamente es el mover vehículos, sino optimizar la utilización de los recursos de transporte con el fin de mejorar el movimiento de personas y bienes sin afectar a la comunidad.

Una de las herramientas analíticas más importantes de la ingeniería de transporte es la simulación por computadora. Si un sistema de tránsito se simula en computadora por medio de un modelo numérico, es posible predecir el efecto de las estrategias de la ingeniería de transporte y el MST en el desempeño de la operación del sistema, expresado en términos de medidas de efectividad, las cuales incluyen velocidades promedio de vehículos, paradas de vehículos, retrasos, tiempos de viaje en horas por vehículo, distancias de recorrido en millas por vehículo, consumo de combustible y emisión de contaminantes, etc. Además, las medidas de efectividad proveen una visión del efecto ocasionado por dichas estrategias en el flujo de tránsito, las que pueden servir de base para establecer estrategias de optimización. Este tipo de análisis es más práctico que la experimentación en campo por las siguientes razones :

- Es menos costoso
- Los resultados se obtienen rápidamente
- Los datos generados por la simulación aportan parámetros de efectividad que algunas veces no pueden ser medidos tan fácilmente en el campo

- Se evitan completamente las interrupciones que el tránsito ocasiona en los experimentos de campo
- Muchos esquemas requieren cambios físicos significativos en la infraestructura que son inaceptables para fines de experimentación

La disponibilidad de los modelos de simulación de tránsito expande en gran medida la oportunidad de desarrollo de nuevos e innovadores conceptos y diseños de MST. Los planeadores e ingenieros ya no están restringidos por la falta de un mecanismo que les permita probar sus ideas antes de una demostración en campo. Más aun, estos modelos producen información que permite al diseñador enfocar sus pensamientos a identificar la debilidad en el diseño, y por tanto, proveer las bases para un desarrollo óptimo de la alternativa a analizar. Los resultados generados por el modelo constituyen el fundamento para seleccionar la mejor de las alternativas de diseño, de manera que la probabilidad de que sea exitosa al momento de ponerla en práctica sea alta.

Cada modelo que compone los programas de computadora está diseñado para representar el tránsito dentro de un medio ambiente en particular, esto es, calles, avenidas, caminos y autopistas, a distintos niveles de detalle, ya sea microscópico o macroscópico. Los modelos de simulación microscópicos representan movimientos de vehículos individuales, incluyendo la influencia de la conducta del chofer. Con tales modelos es posible estudiar los efectos de estrategias muy detalladas como podrían ser la reubicación de estaciones de autobuses o el cambio en las restricciones de estacionamiento. Estrategias menos detalladas que involucren cambios en los patrones de circulación, por ejemplo, pueden analizarse con los modelos macroscópicos.

Algunos programas ayudan a estimar los costos de los proyectos de transporte y el alcance de los beneficios que se pueden obtener con los mismos. Estos programas utilizan capacidad y volumen para estimar el número de accidentes que se pueden evitar si el proyecto se lleva a cabo. El número de accidentes evitados se convierte en un valor monetario (en dólares) de manera que el beneficio del proyecto, en términos de reducción de accidentes.

Los programas GIS (sistema de información geográfica) son sistemas para la planeación, administración y análisis de las características y transformaciones de los sistemas de

transporte y sus capacidades. Se ha aplicado a nivel internacional, nacional, regional y local y puede ser usado por cualquier modelo de transportación. Proveen un fácil acceso a los datos de transportación geográficos; es un modelo de soporte para la planeación del transporte, logística, rutas, operaciones y aplicaciones de comercialización; contienen herramientas para presentar y visualizar la información de transporte, así como una caja de herramientas para el análisis de métodos y modelos de transporte.

2.4 PROBLEMAS EN LA MODELACIÓN

Los problemas más importantes para la utilización de los modelos para la planeación del transporte son de orden práctico y no teórico. Esto puede constituir una consideración importante para la evaluación de la efectividad de los modelos utilizados en microcomputadoras personales. Los problemas prácticos abundan.

- a) *Capacitación insuficiente*. Los investigadores reclaman frecuentemente al personal práctico ser poco receptivos para las nuevas ideas y para los modelos mejorados para el pronóstico de demandas de viajes. Aun se ignora mucho a pesar de las investigaciones que se han realizado en los últimos 20 años. Los educadores continúan impartiendo solo las instrucciones básicas y tradicionales a estudiantes en el uso de programas. Son escasos los organismos que requieren o utilizan los modelos de planificación del transporte y a nivel académico es necesario un mayor esfuerzo para difundir el conocimiento en este campo.
- b) *Datos inadecuados*. Existe una carencia general de datos detallados, actualizados o aun datos relevantes para el modelado en la planificación. El desconocimiento del proceso y de las variables relevantes que intervienen en el mismo conforman una barrera para la utilización de los modelos. La carencia de bases de datos constituyen el lugar común de los organismos que intentan realizar este proceso de planificación.
- c) *Calibración inapropiada de los modelos*. Frecuentemente se realizan esfuerzos insuficientes para calibrar con precisión los modelos. Esto se debe probablemente a que existe escasa normatividad en este campo profesional para determinar si la calibración de un modelo en particular es adecuado para propósitos de planificación. En el mejor de los casos, el criterio es la norma para la evaluación y los análisis retrospectivos son una rareza en el medio.

- d) *Aplicación inapropiada de los modelos.* Los planificadores usan, algunas veces, los modelos de una manera inapropiada para las escalas de análisis, tanto grandes como pequeñas. Ninguno de los paquetes está conformado para análisis de impacto local a escalas muy pequeñas; por ejemplo, para intersecciones simples. Otro ejemplo, un paquete diseñado para una modelación regional detallada en zonas urbanas pequeñas, es inadecuado aplicarlo para realizar un proceso de planeación esquemática a nivel regional o para ciudades grandes.
- e) *El síndrome de la "caja negra".* Las estructuras de los modelos cerrados pueden ocultar problemas debido a los datos o errores debidos a la programación. Sin embargo, las estructuras de los modelos abiertos para programas complejos son escasamente la solución para el síndrome de la caja negra que continua invadiendo los esfuerzos para la modelación. Los nuevos procesos que facilitan el uso de modelos, manejo de interfases interactivas, popularización de programas de microcomputadoras, muestran una mezcla ventajosa si contribuyen a facilitar al usuario a evitar errores en el complejo proceso de la modelación.

Las características peculiares de los países del tercer mundo tales como la carencia de un número relevante de profesionales calificados para atender el proceso de planificación del transporte, una inadecuada estructura institucional, muy rápida urbanización, una inapropiada mezcla de vehículos utilizados para el transporte colectivo y desigualdad en los niveles socioeconómicos, han sido enarbolados como las razones importantes para que las técnicas utilizadas por países occidentales sean inapropiadas para ser usadas en los países en proceso de desarrollo.

La transferencia de tecnología deberá estar acompañada de un conocimiento profundo del medio al cual será aplicada y comparar cuidadosamente el medio donde se originó esa tecnología. Una vez que se hayan obtenido las modificaciones y agentes de la tecnología entonces deberá aplicarse, o en su caso, deberán prepararse nuevas técnicas más adecuadas al medio o contexto en estudio.

Sin lugar a dudas, la investigación es necesaria para elaborar o adecuar la transferencia de técnicas del primer mundo para países en proceso de desarrollo. Esta investigación deberá ser más que una simple calibración de los modelos existentes con objeto de obtener un entendimiento claro de las ventajas y debilidades de las técnicas existentes.

Es necesario considerar que las herramientas de cómputo son de gran ayuda para el planeador de un sistema de transporte, pero nunca sustituirán el sentido común y experiencia del planeador al desarrollar un proyecto.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante considerar, que en nuestro país, el sector transporte no está totalmente preparado para enfrentar un incremento de la demanda con un respectivo incremento de la cantidad y la calidad del servicio, pero esta situación no es reciente, sino que es el resultado de varias décadas de desatención hacia el sector. En tales condiciones, el sector transporte puede llegar a convertirse en un obstáculo para lograr la deseada eficiencia del aparato productivo nacional. En particular, es posible que se resten posibilidades para competir en el mercado internacional. Por ello, es necesario iniciar una planeación de todas las actividades que se vayan a realizar para el mejoramiento del sistema de transporte, para ello es de gran ayuda el empleo de herramientas computacionales

En cuanto a la aplicación de los sistemas, es importante recalcar que cada uno de ellos debe ser utilizado considerando el campo de aplicación para el cual fue creado, por lo cual es necesario delimitar el campo de aplicación de cada sistema computacional.

La interpretación de resultados es sumamente importante, ya que aunque un sistema sea muy eficaz para el cálculo de un nivel de servicio (por ejemplo), la decisión final debe ser estudiada por el planeador, ya que éste conoce las condiciones reales en las que se encuentra la vialidad, por ello es necesario emplear cierto criterio en la interpretación y uso de los resultados proporcionados por un sistema de cómputo.

Es necesario tomar en cuenta que casi todos los sistemas que existen en el mercado fueron desarrollados en países extranjeros, es decir, que fueron diseñados de acuerdo a la experiencia en transporte que tienen expertos extranjeros en el transporte, por lo cual las variables son diferentes a las que se presentan en nuestro país, por lo tanto, es posible emplear estos sistemas para el diseño, siempre y cuando se hayan considerado las variables que corresponden a problema que se desee resolver. En este sentido, se

presenta un hueco en la tecnología desarrollada en el país, pero esto es propiciado sobre todo a la falta de información estadística e histórica en transporte, además de que no se cuenta con información actualizada, aunque algunas veces sí se tiene, pero no se cuentan con todas las bases de datos necesarias para un estudio de transporte; por estas razones, es necesario iniciar un proceso de concientización de la necesidad de estudios de transporte serios, con información confiable y actualizada, además de suficiente para poder desarrollar sistemas computacionales propios, que faciliten la planeación y toma de decisiones en el sistema de transporte y poder proporcionar mejores servicios, es decir, contar con un sistema de transporte eficaz y eficiente.

Finalmente, una vez planteadas las soluciones aun problema de transporte y se ha decidido por la mejor de ellas, es necesario implementarla en campo, pero un aspecto que es importante considerar es que una vez establecidas en el sistema, se requiere concientizar a los usuarios del mismo de la importancia de mantener las mejoras realizadas en buenas condiciones, así como integrarlos al sistema de mantenimiento de la infraestructura y equipos de transporte, ya que un gran problema que ha presentado hasta ahora el transporte es la falta de interés por parte de los usuarios hacia el transporte, este problema disminuye la posibilidad de poder utilizar tecnología de punta o mejorar el sistema, ya que además de ser costoso mejorar el servicio de transporte, muchas veces resulta más costoso el mantenimiento del mismo. Entonces, para poder dar una adecuada atención a la demanda es necesario diseñar una correcta política de transporte (en la cual se encuentran planes y programas oficiales de transporte, coordinación del transporte y regulación estatal, inversión, tarifas y subsidios).

4. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Bazant S . Jan (1983). MANUAL DE CRITERIOS DE DISEÑO URBANO. Edit. Trillas. México, 335 pp.
- 2 Burrough, P.A. (1987) PRINCIPLES OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR LAND RESOURCES ASSESSMENT.
- 3 CONCEPTOS Y LINEAMIENTOS PARA LA PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO (1994) Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas. Manual Normativo. Tomo II. SEDESOL. México, 119 pp.
- 4 Gordon, Geoffrey (1980). SIMULACIÓN DE SISTEMAS. Edit. Diana. México, 344 pp.
5. Petzold. R.G. y Freund, D.M. (1990) POTENTIAL FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN TRANSPORTATION PLANNING AND HIGHWAY INFRAESTRUCTURA MANAGEMENT E.U.A.



CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO

TEMA: PROGRAMA PARA EL CALCULO DE DEMORAS

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

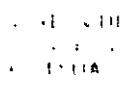
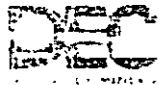
EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

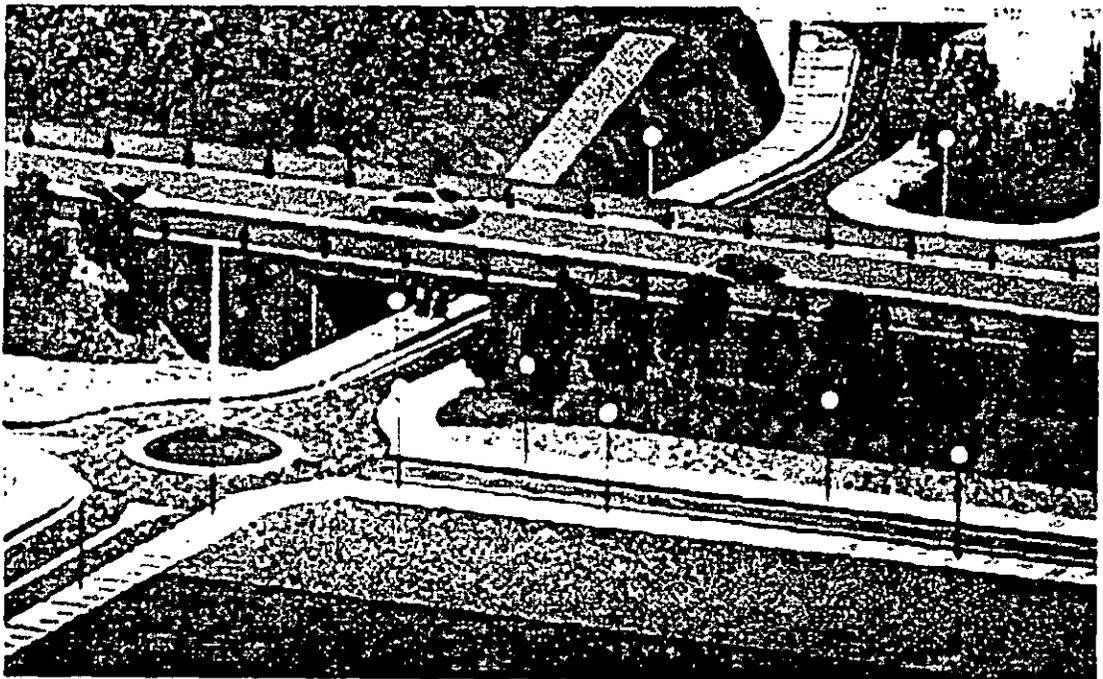
PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004



PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE DEMORAS

FREWAY

M.I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros



FREWAY DELAY CALCULATION PROGRAM (FREWAY)

I. INTRODUCCIÓN

El tiempo de viaje es el factor más importante que define la calidad del servicio de transporte. FREWAY es un programa desarrollado para estimar los impactos anuales que generan las congestiones en las autopistas urbanas en términos de viajes congestionados, demoras al automovilista y exceso en el consumo de combustible (causado por las deficiencias geométricas y tránsito pesado). El programa corre en PC y usa datos generalmente disponibles para el ingeniero de tránsito. Es particularmente usado como una herramienta de análisis de las alternativas de mejoramiento

II. DATOS REQUERIDOS

Requiere datos de entrada por cada sección de vía rápida por ser analizada, esto incluye :

- Longitud de la sección
- Numero de carriles
- Tránsito diario promedio anual (TDPA)
- Factor K (porcentaje del TDPA que ocurre durante la hora pico)
- Factor direccional de la hora pico
- Ancho de acotamiento

Además, los datos de anchos de carril y porcentaje de vehículos pesados son necesarios si el usuario desea que el programa calcule la capacidad de la sección. Alternativamente, la capacidad de la sección puede ser proporcionada por el usuario.

III. METODOLOGÍA DEL PROGRAMA

El programa toma datos de entrada sobre volúmenes de tránsito diario promedio y el tránsito hora pico que caracteriza cada categoría de cada sección de la vía rápida, por lo cual el programa estima la congestión que impacta diariamente.

Los impactos de congestión debidos a congestiones recurrentes se estiman usando la relación volumen/capacidad (V/C) con base en el tránsito de entrada, información de geometría y capacidad. En el análisis de congestión recurrente, el flujo de congestionamiento es considerado cuando la relación V/C de la sección empieza a ser igual o mayor a 0.77 (el límite para los niveles de servicio C y D para una velocidad de diseño de 70 mph se dan en el Manual de Capacidad de Carreteras de 1985).

La demora del automovilista se calcula usando la velocidad de flujo, mediante la relación V/C. A partir de la velocidad del vehículo se calculan tiempos de viajes congestionados, los cuales son entonces comparados con un tiempo ideal de viaje (sin congestionamiento). La capacidad de la vía se da en vehículos equivalentes por hora por carril (vl/h/c), ya que con esta medida se maneja únicamente un vehículo tipo (ya que los vehículos pesados se transforman a vehículos ligeros), lo cual facilita el diseño.

Los costos totales atribuibles a las demoras recurrentes y al exceso de consumo de combustible y a las demoras no recurrentes se estiman por el programa usando como datos los valores de tiempo de viaje del automovilista (vehículo por hora) y el costo del combustible por galón. Los valores del tiempo de viaje del automovilista que se dan por default corresponden a octubre de 1985, los cuales se pueden actualizar usando el índice de precios al consumidor

IV. PROCESANDO EL PROGRAMA

FREWAY es un programa que no necesita otros archivos para procesarse. Se puede copiar en el disco duro o ejecutarlo directamente del disco flexible. Para empezar el programa, coloque el cursor en el lugar donde se encuentre localizado el paquete y posteriormente, escriba FREWAY. Algunas definiciones clave son :

1. Tránsito Promedio Anual (TDPA) Es el tránsito promedio sobre la vía, en ambas direcciones, en día normal.
2. Factor K Es el porcentaje del TDPA que ocurre durante la hora pico (en la mañana o en la tarde)
3. Factor direccional Este es una división direccional del tránsito de la hora pico. El porcentaje más alto es el que se considera (ej., una repartición 60/40 podría ser introducida como 60).

El TDPA se multiplica por el Factor K y a su vez se multiplica por el Factor Direccional dado por el volumen direccional en la hora pico.

En el primer menú se da la posibilidad de elegir de dónde provienen los datos de entrada. Es posible leer un archivo previamente creado o se puede iniciar la introducción de nuevos datos (más de 20 secciones en cada archivo). Una vez elegida cualquiera de las dos opciones anteriores, todas las variables en memoria son establecidas, excepto los costos que se tienen por default por combustible y tiempo

V. INTRODUCCIÓN DE DATOS

1. *General*

Cuando se elige la opción de introducir nuevos datos, aparece un nuevo menú. Los datos se separan en 4 pantallas diferentes, en las cuales aparecen diferentes opciones sobre el nuevo menú de datos para alimentar el programa. En el final de cada pantalla, es posible reconsiderar un cambio en los datos. Cuando se contesta "sí" a la pregunta "¿Todo está correcto?", el programa regresará a la siguiente pantalla para continuar aportando datos. Las pantallas se describen a continuación

2. *Pantalla 1. Descripción de la Sección*

La primera pantalla pregunta la información para describir a la sección, lo cual incluye nombre de la ruta, longitud de la sección, número de carriles y anchos de acotamiento izquierdo y derecho. Los límites de los datos de entrada al programa se muestran en la **TABLA 1**.

TABLA 1. LIMITES SUPERIOR E INFERIOR DE LOS VALORES DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA FREWAY

CONCEPTO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
Longitud de la sección	0.01	99.9
Número de carriles	1	16
Ancho de acotamiento (izquierdo y derecho)	0	999
TDPA	1	99 999 999
Factor K	1	99
Factor direccional de hora pico	1	100
Ancho de carril	1	16
Porcentaje de camiones	0	99
Valor del tiempo de viaje	0.01	99.99
Valor del combustible	0.01	99.99

3. *Pantalla 2. Descripción de Volúmenes*

La segunda pantalla se usa para introducir la información relativa a volúmenes, como son el TDPA, Factor K y el factor direccional de hora pico.

4. Pantalla 3. Cálculo de Capacidad

La tercera pantalla es ligeramente diferente, ya que primero pregunta si se desea que el programa calcule la capacidad de la sección. Si se elige que "sí", entonces aparece una pantalla donde se pide el ancho de carril y el porcentaje de camiones. Si no se desea este cálculo, el programa entonces pide el dato de la capacidad direccional de la hora pico.

5. Pantalla 4. Valores de Combustible y Tiempo

La pantalla final muestra los valores que tiene el programa por default de costo de combustible y tiempo de viaje del automovilista. Estos valores pueden cambiarse si el estudio que se realiza tiene diferentes valores.

VI. DESARROLLANDO CÁLCULOS

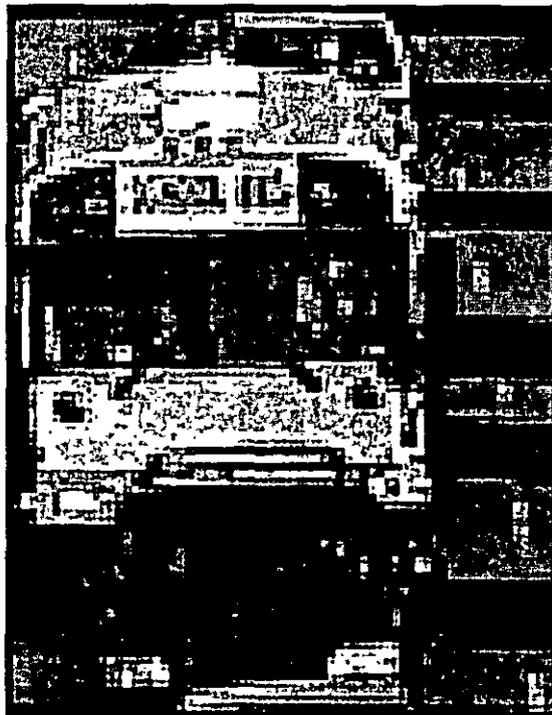
Una vez que ya se ha alimentado el programa, la elección final en el siguiente menú es la número "5 COMENZANDO LOS CÁLCULOS". Esta elección debe hacerse después de que se introdujeron los datos de cada sección. Entonces, el programa hará los cálculos para cada sección y los resultados se almacenan en la memoria. Cuando los cálculos se han hecho, aparece una pantalla donde se da la opción de introducir otra sección o revisar los datos de las secciones. Si se elige revisar los resultados, entonces es posible imprimir éstos, guardar el archivo y continuar introduciendo más secciones o regresar al menú principal e iniciar otro problema.

A continuación se presenta el desarrollo de un ejemplo en el programa. En la primera página se muestran los datos de entrada para realizar cálculos y en la segunda pantalla se obtienen los costos totales por demora y por consumo de combustible

ANÁLISIS DINÁMICO DE LÍNEAS DE ESPERA

Dqueue

M.I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros





CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO

TEMA: DYNAMIC QUEUEING ANALYSIS

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

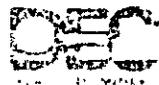
EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004



UNIVERSIDAD
DE
MINERÍA



dynamic QUEUEing analysis dQUEUE

ANTECEDENTES

Antes de iniciar la explicación del uso del paquete se presentan algunos conceptos importantes para el entendimiento de la metodología seguida por el programa:

Teoría de colas

La teoría de colas incluye el estudio matemático de las colas o líneas de espera. La formación de líneas de espera es, por supuesto, un fenómeno común que ocurre siempre que la demanda actual de un servicio excede a la capacidad actual de proporcionarlo. Con frecuencia, en la industria y en otros sitios, deben tomarse decisiones respecto a la cantidad de capacidad que debe proporcionarse. Sin embargo, muchas veces es imposible predecir con exactitud cuándo llegarán las unidades que buscan el servicio y/o cuánto tiempo será necesario para dar ese servicio; es por esto que esas decisiones suelen ser difíciles. Proporcionar demasiado servicio implica costos excesivos. Por otro lado, carecer de la capacidad de servicio suficiente causa colas excesivamente largas en ciertos momentos. Las líneas de espera largas también son costosas en cierto sentido, ya sea por un costo social, por un costo causado por la pérdida de clientes, por el costo de empleados ocioso o por algún otro costo importante. Entonces, la meta final es lograr un balance económico entre el costo de servicio y el costo asociado con la espera por ese servicio. La teoría de colas en sí no resuelve directamente este problema, pero contribuye con información vital que se requiere para tomar las decisiones concernientes prediciendo algunas características sobre la línea de espera como el tiempo de espera promedio.

PROCESO BÁSICO DE COLAS

El proceso básico supuesto por la mayor parte de los modelos de colas es el siguiente:

Los *clientes* que requieren un servicio se generan a través del tiempo en una *fuentes de entrada*. Estos clientes entran al *sistema* y se unen a una *cola*. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola para proporcionarle un servicio mediante una regla conocida como *disciplina de servicio*. Luego, se lleva a cabo el servicio requerido por el cliente en un *mecanismo de servicio*, después de lo cual el cliente sale del sistema de colas. En la **FIGURA 1** se da un esquema de este proceso.

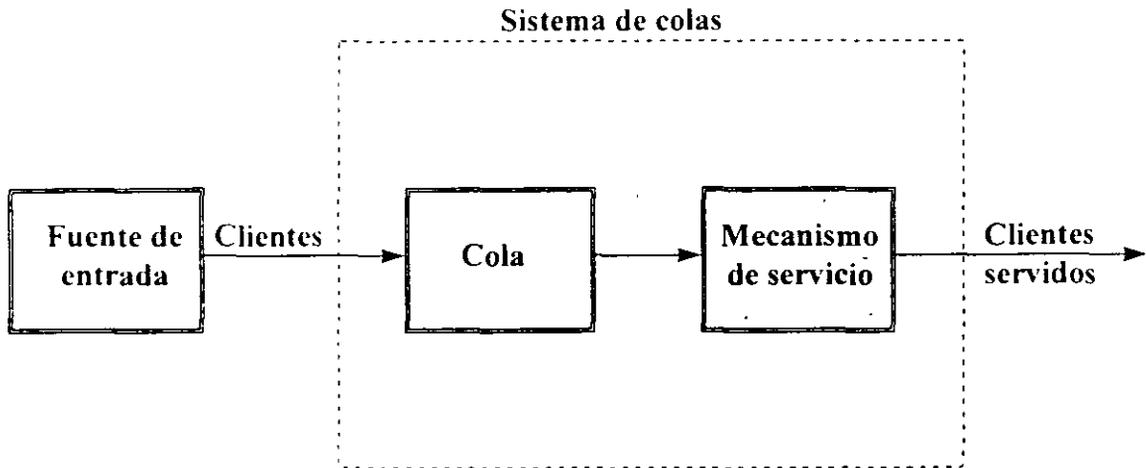


FIGURA 1 PROCESO BÁSICO DE COLAS (Hillier y Lieberman, 1997)

Fuente de entrada (población potencial). Una característica de la fuente de entrada es su tamaño. El tamaño es el número total de clientes que pueden requerir servicio en determinado momento.

Cola Una cola se caracteriza por el número máximo permisible de clientes que puede admitir.

Disciplina de cola Se refiere al orden en el que se seleccionan sus miembros para recibir el servicio. Por ejemplo, puede ser, primero en entrar, primero en salir, aleatoria, de acuerdo a algún procedimiento de prioridad o a algún otro orden. La que suponen como normal los modelos de colas es la de primero en entrar, primero en salir.

Tiempo de servicio Es aquél que transcurre desde el inicio del servicio para un cliente hasta su terminación en una instalación.

Simulación de Monte Carlo

Al realizar una simulación que comprende variables estocásticas es necesario generar una sucesión de números en que los valores sucesivos son aleatorios y tienen la distribución que describe la variable estocástica.

Existen varios dispositivos y técnicas para producir dichas sucesiones. El ejemplo más simple es para una función de distribución de probabilidad discreta en que la elección es entre n distintos valores, cada uno de los cuales ocurre con igual probabilidad. Una rueda de ruleta que tiene el mismo número de secciones de distintos valores, o un dado con ese número de caras genera la sucesión. Debido a esta analogía se ha generalizado el término de Monte Carlo con su conexión con los juegos de azar para describir cualquier método de cómputo que utilice números aleatorios.

Los métodos de Monte Carlo se utilizan en una extensa diversidad de problemas tales como la evaluación de integrales complicadas, estudios de crecimiento de población y el diseño de reactores nucleares; con frecuencia se describen esos casos como simulaciones de Monte Carlo. El término simulación de sistema significa un cálculo numérico en que los estados sucesivos de un sistema se determinan en el tiempo (*Gordon, 1986*). Muchas simulaciones descritas como simulaciones de Monte Carlo son simulaciones en este sentido, debido a que siguen el desarrollo de un proceso estocástico. Sin embargo, ciertos métodos de Monte Carlo se aplican a problemas que no son intrínsecamente aleatorios; los números aleatorios solo proporcionan una manera conveniente de evaluar una cantidad; por ejemplo, el valor de una integral (representa un área o volumen). El método de Monte Carlo genera al azar las coordenadas de un punto dentro de un espacio y determina si el punto cae dentro del área o volumen definido por la integral. Repitiendo muchas veces el experimento y midiendo la proporción de puntos que caen dentro del área o volumen se obtiene un valor aproximado para la integral.

Hammersley y Handscomb distinguen entre dos tipos de métodos de Monte Carlo definiendo a los métodos probabilísticos aquellos que se aplican a problemas en que un proceso aleatorio es intrínseco, y los otros son deterministas. En la simulación de sistemas se utilizan los primeros.

Una simulación de Monte Carlo requiere sucesiones de números aleatorios que se obtienen de una distribución de probabilidad

En resumen:

- Simulación es un proceso numerico diseñado para experimentar el comportamiento de cualquier sistema en una computadora digital, a lo largo de la dimensión tiempo. (*Prawda,1980*).
- La técnica de Monte Carlo es una herramienta utilizada en los procesos de simulación y en los juegos, para seleccionar números aleatorios.

INTRODUCCIÓN

El dQUEUE es un programa que se usa para realizar la simulación de demoras y de formación de colas en casetas de cobro.

Este programa está basado en el modelo de simulación de Monte Carlo, así como en la teoría de flujo de tránsito. Simula gráficamente por medio de animación el movimiento de cada vehículo al aproximarse a una caseta de cobro. El usuario puede observar la formación y disipación de las colas de vehículos en el monitor de la computadora. El programa toma en cuenta varios factores que afectan el desarrollo de la cola, entre otros, volúmenes de tránsito, tasas de servicio, maniobras, tipos de operaciones, etc. Durante la simulación se calculan diversas medidas de efectividad tales como retrasos, tamaños de colas, niveles de servicio, etc. A continuación se detalla la metodología y uso del programa.

METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN

El dQUEUE (análisis dinámico de demoras) fue desarrollado por el Departamento de Transporte de Florida. Este programa se desarrolló basado en la técnica de simulación de Monte Carlo y la teoría de flujo de tránsito. La simulación del programa, grafica de manera animada cada movimiento vehicular conforme se va aproximando a la caseta. El analista puede observar la formación y disipación de la cola de tránsito en el monitor de la PC. El programa considera algunos factores que afectan el desarrollo de la cola incluyendo los volúmenes de tránsito, tasas de servicio y tipo de operaciones. Durante la simulación el programa calcula algunas medidas de efectividad (MOE) como la demora, demora total, tamaño de la cola, longitud de la cola y vehículos servidos.

Ya que el proceso de simulación es complejo, el sistema está dividido en 7 módulos. La interrelación de estos módulos se muestra en la **FIGURA 2**. El módulo de entrada incluye toda la información en la que se basan los cálculos subsecuentes. Se incluyen todos los datos necesarios de la geometría, volúmenes de tránsito y tasas de flujo de servicio.

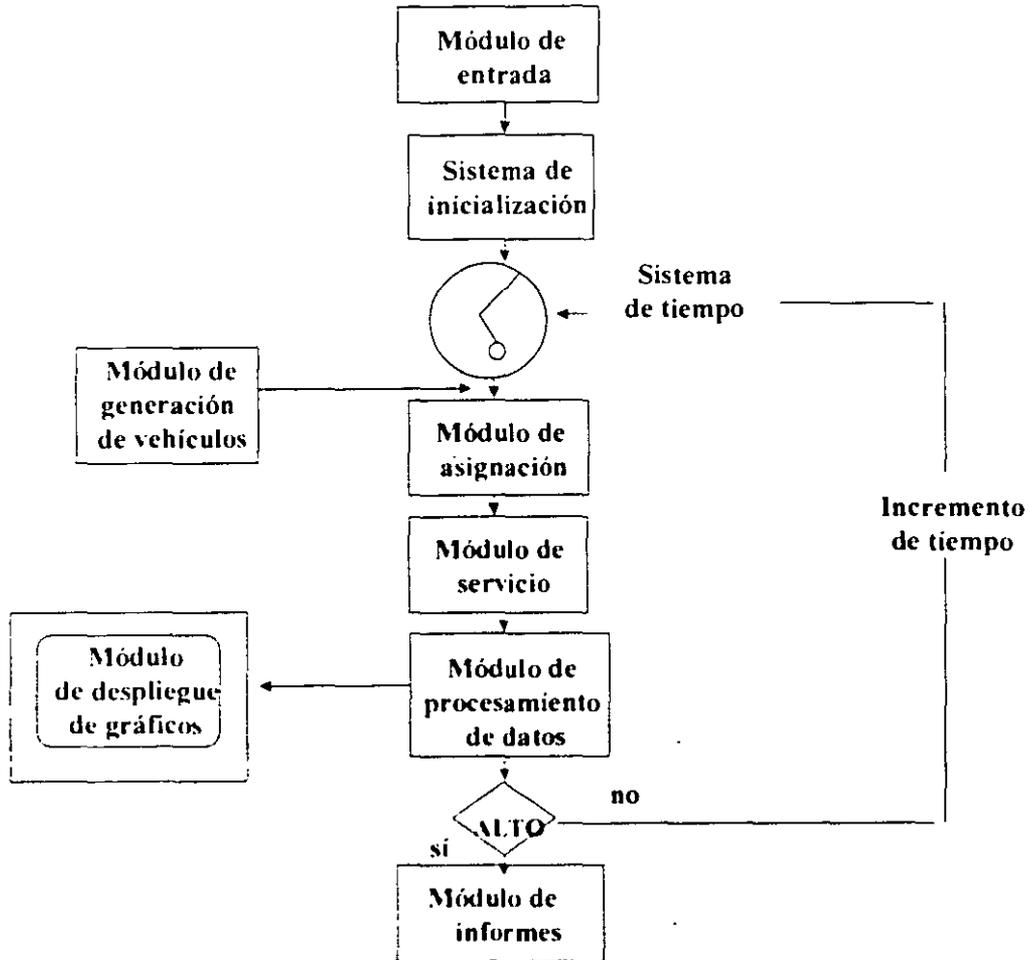


FIGURA 2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SIMULACIÓN DEL PROGRAMA dQUEUE

Después del módulo de entrada, el sistema inicia la corrida incrementando la tasa. En cada incremento de tiempo, se llaman 5 módulos al proceso de simulación:

Módulo de generación de vehículos. Este módulo genera los vehículos que llegan con una curva de distribución probabilística. El proceso crea la naturaleza estocástica de la llegada del flujo de tránsito

Módulo de asignación. Asigna a cada vehículo a una línea de espera. La asignación se hace en función del tipo de vehículo y la longitud de la cola.

Módulo de servicio. Es el que determina el número de vehículos en espera de ser servidos.

Módulo de procesamiento de datos. Realiza el cálculo de la espera del vehículo desde el módulo de asignación hasta el módulo de servicio. Se acumulan la longitud de la cola y el tiempo de espera.

Módulo de animación. Despliega gráficamente la espera de los vehículos al ir llegando al punto de estudio. Permite un examen visual de la formación y disipación de la cola en el área de estudio.

PROCESANDO EL DQUEUE

El dQUEUE es un programa de uso interactivo. Después de que se despliega el "logo" del programa es necesario contestar una serie de preguntas referentes a la operación del tránsito.

- a) *PANTALLA 1.* se pide la localización del área de estudio. Posteriormente se pide información referente a la fecha y hora de realización del estudio. La información que se proporciona en esta pantalla es para la identificación del problema.
- b) *PANTALLA 2.* en esta pantalla se va pidiendo la siguiente información: tiempo de inicio de la simulación, tiempo que se desea se simule la formación de las colas, volumen de tránsito cada 15 minutos que va llegando a la zona de estudio, número de carriles en la autopista (1-5), número de estaciones de servicio (1 a 7), si existe alguna estación de servicio de paso: es decir, aquellas que cuentan con sistema de medición automático usando tarjeta, vehículos que van siendo servidos por la estación.
- c) *PANTALLA 3.* se pide un número entre 1 y 9999, este número se usará como número generador para iniciar la simulación. En este momento se inicia la simulación y el cálculo de algunas medidas de eficiencia como vehículos que llegan servidos durante el lapso de estudio, longitud de la cola, demora por cada estación de servicio.

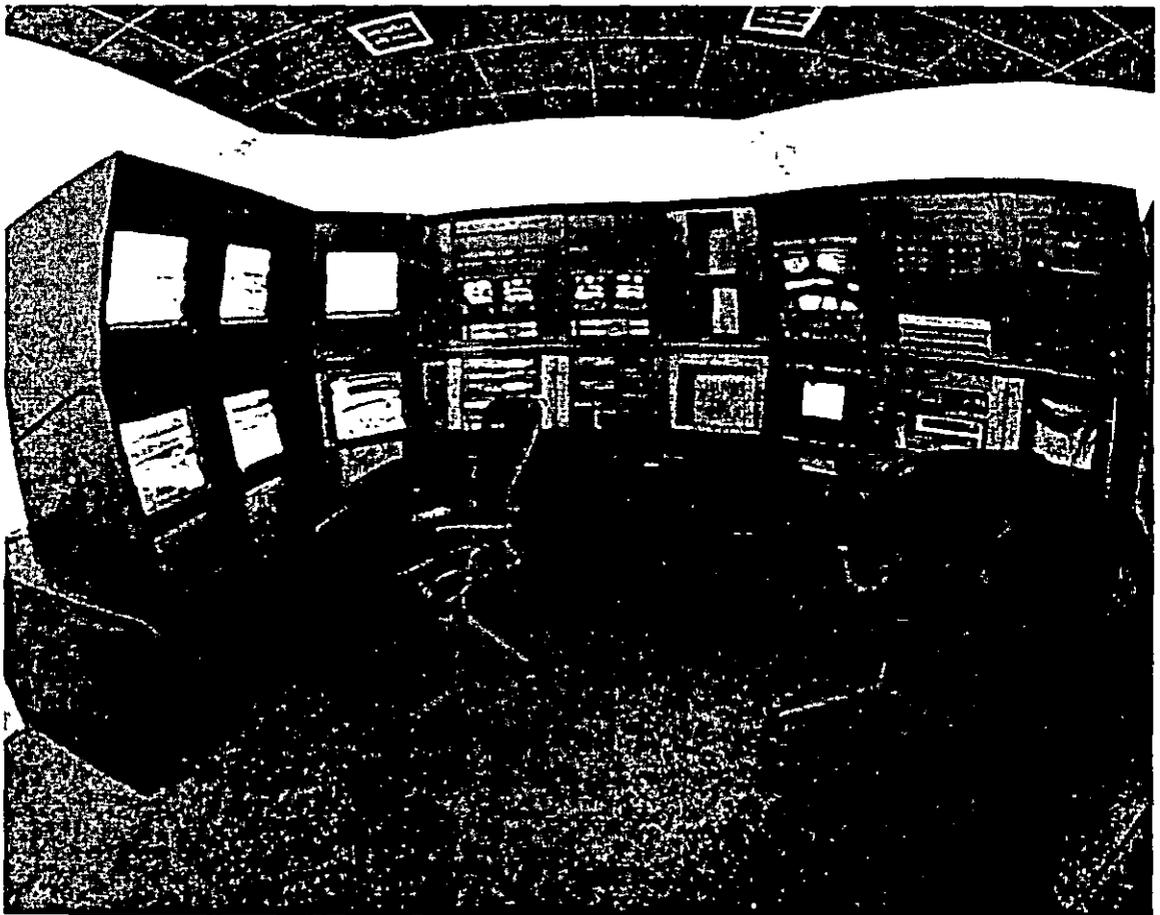
BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Flores, José Jesús. INGENIERÍA CIVIL. Ingeniería de Sistemas II. En imprenta. 132 pp.
- Hillier, Frederick S. Y Lieberman, Gerald J., 1997. INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES. Edit. McGraw-Hill. México. 998 pp
- Gordon, Geoffrey, 1980. SIMULACIÓN DE SISTEMAS. Edit. Diana. México. 344 pp.
- Prawda, Juan, 1986. MÉTODOS Y MODELOS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES. Vol. I. Modelos Determinísticos. Edit. Limusa México. 935 pp.

MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DE SEÑALES DE TRÁNSITO

SYNCHRO

M.I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros





CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO

TEMA: MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DE TRANSITO

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

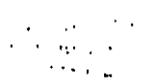
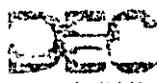
EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004



MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DE SEÑALES DE TRÁNSITO, SYNCHRO

ANTECEDENTES

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tránsito rodado, composición del mismo, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección. La metodología de este capítulo se centra en la determinación del nivel de servicio para condiciones prevalecientes conocidas o en proyecto, pero presenta alternativas de cálculo para la determinación de otras variables usando un nivel de servicio asumido o deseado.

En la intersección regulada por semáforos hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad: la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye el tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en cómo se distribuya el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos.

La capacidad se evalúa en términos de la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad (relación I/c), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media de parada por vehículo (g/c).

Los semáforos modernos otorgan el tiempo de muchas maneras, desde la modalidad más sencilla de tiempos prefijados (tiempos fijos) y dos fases, hasta la más compleja de tipo multifase.

Generalmente se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semafóricas:

- (a) Ciclo, cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo
- (b) Duración de ciclo, el tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo C .
- (c) Fase, la parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tránsito que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos
- (d) Intervalo, un periodo durante el cual todas las indicaciones semafóricas permanecen constantes.

-
- (e) Tiempos de cambio, los intervalos "amarillo" más el "todo rojo" que tienen lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que movimientos contrapuestos se pongan en marcha; se expresa con el símbolo Y y se mide en segundos.
 - (f) Tiempo de verde, el tiempo dentro de una fase dada, durante la cual la indicación "verde" está a la vista; expresado con el símbolo G_i (para la fase i) y en segundos.
 - (g) Tiempo perdido, el tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento; estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio (durante el cual la intersección se evacua) y al principio de cada fase cuando los primeros autos de la cola sufren retrasos en el arranque.
 - (h) Tiempo de verde efectivo, el tiempo durante una fase dada que está efectivamente disponible para los movimientos permitidos, generalmente se considera como el tiempo verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido para la fase en cuestión; expresada en segundos y representada con el símbolo g_i (para la fase i).
 - (i) Proporción de verde, la proporción de verde efectivo en relación a la duración del ciclo, denotada con el símbolo g_i/C (para la fase i).
 - (j) Rojo efectivo, el tiempo durante el cual no se permite la circulación a un movimiento dado o un conjunto de movimientos; es la duración del ciclo menos el tiempo verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos y simbolizado con r_i .

La capacidad en las intersecciones se define para cada acceso. La capacidad del acceso en las intersecciones es la máxima intensidad de circulación (para el acceso en cuestión) que puede atravesar la intersección en las condiciones prevalecientes del tránsito, la carretera y la señalización. Generalmente, la intensidad de circulación se mide o proyecta para un período de 15 minutos y la capacidad se determina en vehículos por hora.

La capacidad en las intersecciones reguladas por semáforo se basa en el concepto de saturación e intensidad de saturación. La intensidad de saturación se define como la máxima intensidad de circulación que puede circular por un acceso de una intersección o grupo de carriles dado en las condiciones de tránsito y de la carretera prevalecientes, suponiendo que el acceso o el grupo de carriles tenga un

100% de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo. La intensidad de saturación se representa con el símbolo s , y se expresa en unidades de vehículos por hora de tiempo de verde efectivo (v/hv).

SYNCHRO

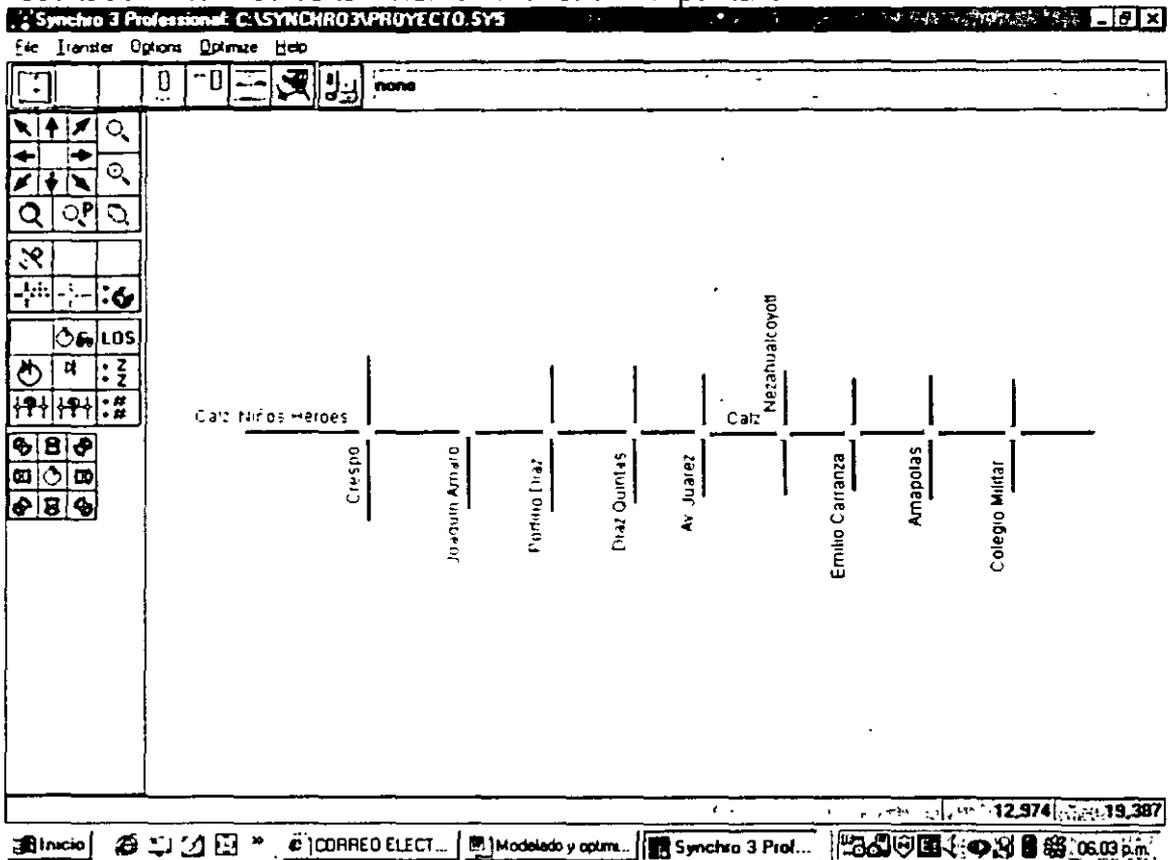
Synchro es un paquete de software completo para modelar y optimizar las fases de semáforos.

Análisis de Capacidad

Synchro provee una implementación completa del Manual de Capacidad de 1994, Capítulo 9, además, todas sus herramientas se basan en Windows, por lo cual es de fácil uso y permite obtener análisis de capacidad desde una intersección aislada y su optimización de fases

Adicional al cálculo de capacidad, Synchro también puede optimizar longitudes de ciclo, eliminando la necesidad de tratar con múltiples planes de fases en búsqueda del óptimo.

Todos los valores son alimentados en formas muy sencillas. Los cálculos y resultados intermedios también se muestran en pantalla.



Si la intersección está coordinada, Synchro calcula el factor por pelotón. Synchro también calcula los efectos de coordinación automáticamente.

Coordinación

Synchro genera los planes óptimos de fases rápidamente, optimiza las longitudes de ciclo, demoras y también las reduce.

Los planes de fases se muestran en fáciles y comprensibles diagramas.

Synchro 3 Professional: C:\SYNCHRO3\PROYECTO.SYS

File Transfer Options Optimize Help

Calz. Niños Heroes & Crespo

Controller Type: Pretimed	TIMINGS											
	EBL	EBT	WBT	WBR	NBL	NBT	SBL	SBT	SBR	PED		
Current Cycle Length: 90	Left Turn Type		Perm	Perm	Perm	Perm	Perm	Perm	Perm	Perm	Perm	Perm
Natural Cycle Length: 90	Right Turn Treatment											Perm+0v
Int. V/C Ratio: 1.11	Phase Number	0	1	1		0	2	0	2			0
Int Delay: 27	Phase Lagging?		Lead	Lead		Log		Log				
Int LOS: D	Phase can lead or lag?		Fixed	Fixed		Fixed		Fixed				
<input checked="" type="checkbox"/> Lock Timings	Maximum Split (s)		42	42		48		48				
Offset Settings	Minimum Split (s)		28	28		21		21				
Current Offset: 183	Yellow + All Red Time (s)		3	3		3		3				
Reference Style: Begin of Green	Lost Time (s)		4.0	4.0		4.0		4.0				
Reference Phase: 1 EBWB	Green to Cycle Ratio	0.42	0.42	0.42	0.42	0.49	0.49	0.49		0.49		
<input type="checkbox"/> Master Intersectn.	Actuated G/C Ratio	0.42	0.42	0.42	0.42	0.49	0.49	0.49		0.49		
	Volume to Capacity Ratio	1.35	0.40	0.54	0.59	0.40	0.64	0.75		0.90		
	Actuated V/C Ratio	1.35	0.40	0.54	0.59	0.40	0.64	0.75		0.90		
	Percentile Delay (s)	185.0	13.9	18.7	19.4	11.2	13.4	16.5		26.1		
	Level of Service	F	B	C	C	B	B	C		D		

Left Turn Treatment for approach | V/C > 1 | Max ok

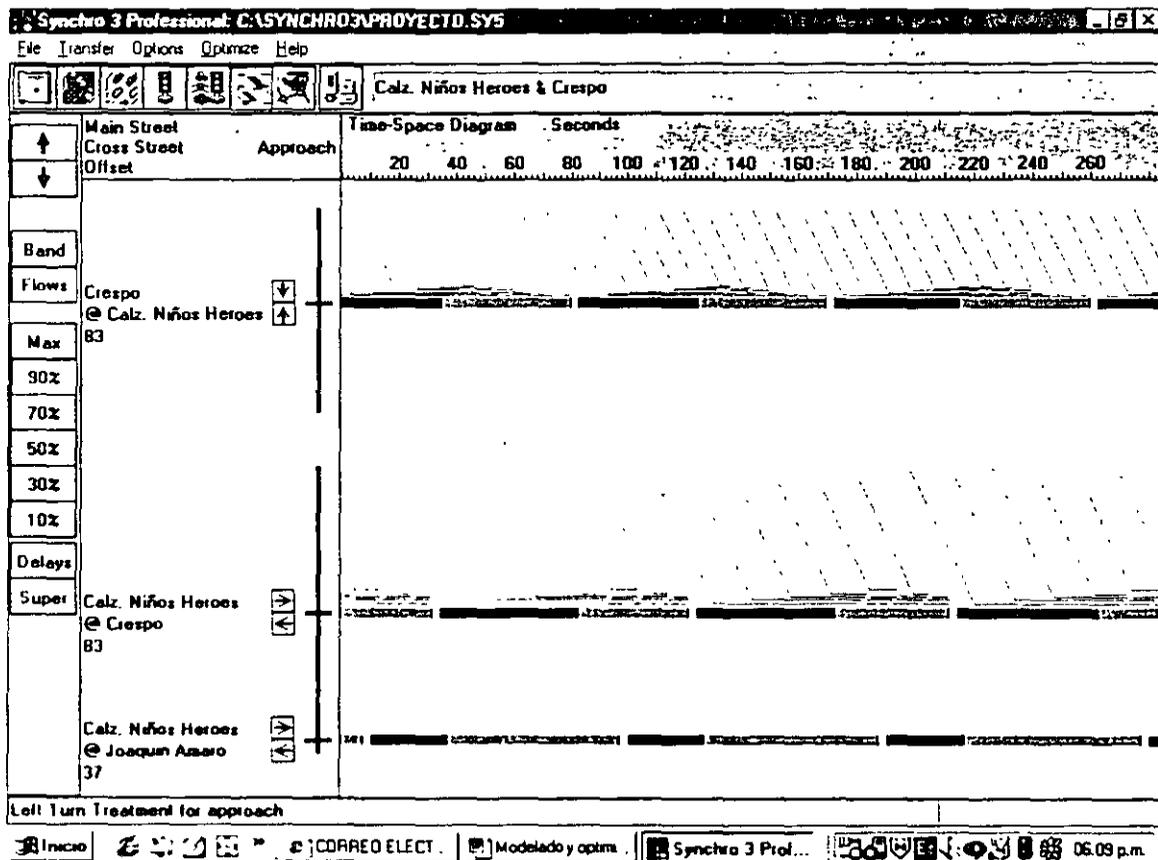
Inicio | CORREO ELECT. | Modelado y optimi... | Synchro 3 Prof... | 06.06 p.m.

Señales Actuadas

Synchro es el único paquete interactivo para modelar señales actuadas.

Diagrama Tiempo-Espacio

Synchro tiene un llamativo e informativo diagrama tiempo-espacio. El estilo de ancho de banda muestra cómo el tránsito podría viajar por la arteria completa sin parar, también se puede observar el flujo de tránsito, donde los vehículos individuales paran, las líneas de espera que se forman y cuando salen de la intersección.



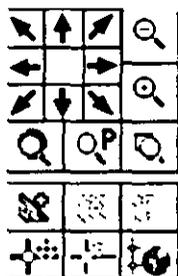
Synchro tiene muchas características. Para diversos tipos de análisis, no todos los datos son necesarios.

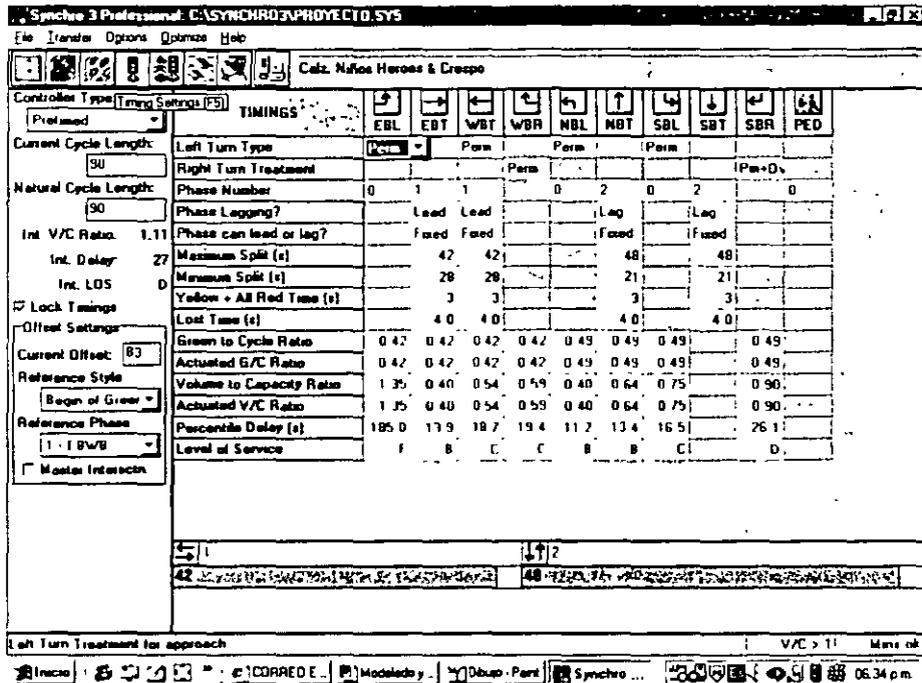
Análisis de Capacidad. para análisis de capacidad en intersecciones aisladas, la siguiente información no es necesaria. Información del sensor, Información de salida, Diagramas tiempo-espacio.

Adicionalmente, un mapa a escala no es necesario.

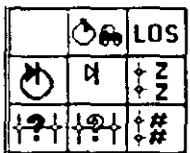
Para realizar un análisis de coordinación, haga lo siguiente:

1. Dibuje un mapa con intersecciones, utilice la sección izquierda de la pantalla.





En la ventana de "File", puede imprimir la información que generó.



Finalmente, para observar los niveles de servicios en cada intersección de la red, presione el botón LOS, del lado izquierdo de la pantalla. Al final de cada análisis de capacidad, se indica el nivel de servicio obtenido para cada intersección.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)

TRANSCAD

M.I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros





CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO

TEMA: TRANSPORTATION GIS SOFTWARE TRANSCAD

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

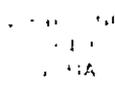
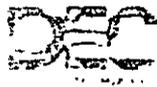
EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004



TRANSPORTATION GIS SOFTWARE TRANSCAD

ANTECEDENTES

El transporte como actividad humana y medio que posibilita la articulación e integración regional, así como el intercambio de bienes e ideas entre poblaciones, es por naturaleza un fenómeno geográfico dada su clara expresión territorial, de aquí que, la dimensión espacial del transporte sea inobjetable y adquiera la categoría de elemento fundamental en los procesos de planeación, en la formulación de proyectos de inversión y además aparezca como uno de los criterios básicos en los análisis que sustentan la resolución del tomador de decisiones.

La implicación geográfica del transporte obliga necesariamente al análisis espacial. La heterogeneidad de variable que deben considerarse, la interrelación de éstas y la expresión cartográfica de las mismas hacen del análisis espacial una actividad compleja y laboriosa.

El acelerado desarrollo alcanzado por la tecnología computacional, no sólo en lo que respecta a su componente de equipo, sino también en la diversidad de campos de aplicación a los que se ha abierto, ofrece actualmente una herramienta diseñada específicamente para facilitar y apoyar las tareas relacionadas con el análisis espacial, conocida como Sistemas de Información Geográfica, cuyas cualidades principales son:

- Capacidad de registro geográfico de variables
- Manejo integrado de informaciones diversas
- Representación gráfica de resultados en distintos formatos, incluido el cartográfico

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son fundamentalmente instrumentos técnicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados en primera instancia para inventariar información geográfica, la cual a su vez alimenta las funciones de análisis con que están equipados los SIG, para finalmente, convertirse en herramientas útiles a las labores de administración (*Cowen, 1988*).

Las posibilidades de los SIG de manipular datos geográficos, les permite estudiar procesos territoriales, realizar análisis de tendencias y elaborar proyecciones, insumos todos los necesarios para las labores de planeación y administración en una gran diversidad de sectores y actividades económicas y sociales, como por ejemplo, la dotación de servicios básicos (agua, electricidad, drenaje, teléfono), la organización espacial de los servicios de educación y salud, la distribución de

áreas comerciales y la ubicación de mercados potenciales, la identificación de nuevas rutas de transporte o necesidades de inversión en nuevos caminos, etc.

Ligados en sus orígenes al manejo de grandes bases de datos y a la cartografía automatizada, el concepto actual de los sistemas de información geográfica ha desbordado esos propósitos al ofrecer además sus capacidades de manejo y análisis de la información. Si bien, los SIG son resultado de la conjunción de desarrollos paralelos en varias disciplinas y técnicas relacionadas con el procesamiento de datos espaciales (**FIGURA 1**), como herramienta técnica desarrollada en el campo del quehacer geográfico, los SIG han destacado con el tiempo por el hecho de facilitar las tareas básicas de análisis, integración y síntesis de los procesos espaciales, características de la Geografía.

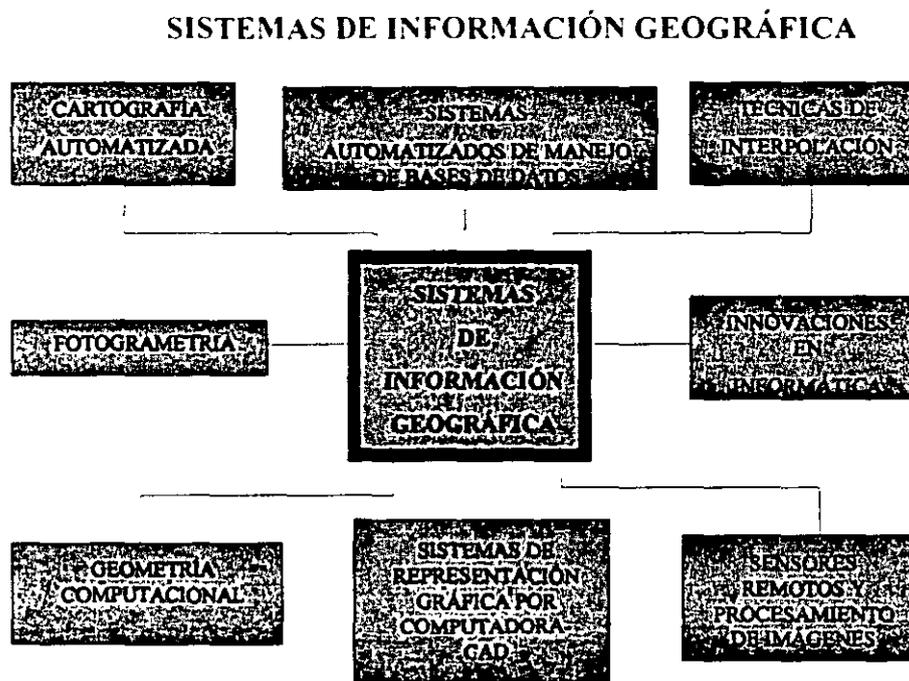


FIGURA 1 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(Burrough, 1987)

Como sistemas diseñados para el procesamiento y análisis de datos, los SIG proporcionan facilidades de acceso, organización, selección, integración y actualización de diversas series de datos con ahorros considerables de tiempo y bajo costo. No obstante, sus ventajas como herramienta tecnológica específica se asocian al hecho de manejar datos geográficos, cuya referencia espacial conduce a la caracterización y diferenciación del territorio haciendo posible la

predicción de procesos y patrones espaciales, atributos que ligados a la capacidad de representación de estos sistemas, amplían aun más el panorama de ventajas de utilización de los SIG.

La evolución de los SIG ha dependido en buena medida, tanto de los avances técnicos alcanzados en diversas áreas de la ingeniería de sistemas, como de los logrados en materia de su propia conceptualización, formulación adecuada de objetivos y en el terreno de la demostración de su utilidad práctica, en campos tales como el manejo de recursos naturales, administración de servicios (agua, drenaje, electricidad, etc.), planeación de actividades económicas, entre otras.

Históricamente, el primer SIG nace a principios de los años 60's en Canadá (Canada Geographical Information System, CGIS) como respuesta a los problemas de competencia por el uso del suelo que dicho país enfrentaba. Desde su etapa inicial, el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica se vinculó principalmente al sector gubernamental en instituciones y entidades de los Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y Suecia, entre otros, que contaban ya en esos primeros años con sistemas propios diseñados para mejorar la administración regional del territorio, aunque la realidad es que en la mayoría de los casos estuvieron subutilizados.

Para el caso particular del Sector Transporte existen un número considerable de sistemas gráficos, útiles como herramientas de trabajo para necesidades específicas, pero que no deben confundirse en ningún momento con sistemas de Información Geográfica.

Los SIG son por definición sistemas abiertos de entrada, procesamiento y salida de información con características particulares derivadas de cada uno de sus componentes, los cuales interactúan para hacer posible el funcionamiento global del sistema.

Los programas de cómputo o software de los SIG varían en la capacidad, diversidad y alcance de sus funciones y suelen recurrir a técnicas que cambian de acuerdo a las características de operación derivadas principalmente del tipo de registro y de estructuración de las bases de datos.

Los SIG surgen como valiosos instrumentos de apoyo a todas aquellas labores que llevan implícitas en su ejecución, la necesidad del análisis geográfico de los elementos o variables que el problema o la actividad en cuestión comprenda, los cuales, en el caso del transporte, no son pocos, ya que por naturaleza es un fenómeno geográfico dada su clara expresión territorial. La clave para emplear un SIG y obtener de él efectividad y resultados satisfactorios (*Petzold y Freund, 1990*), estriba en la identificación acertada de su aplicación, la cual deberá tener como característica primordial, la necesidad del análisis geográfico (**FIGURA 2**).

INTEGRACIÓN DE DATOS

Facilidad otorgada por el empleo de un sistema común de referencia, tanto para información directamente relacionada con las vías de comunicación, como de aquella otra que hace posible análisis más amplios (datos demográficos, económicos, de uso del suelo, geología, pendientes, etc.)

REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LOS DATOS

Muestra en forma gráfica (representación cartográfica) la distribución y/o comportamiento de los datos en el territorio, lo cual permite una mayor comprensión del problema en cuestión.

ANÁLISIS INNOVADOR

Ofrece nuevas formas de observar viejos problemas al combinar modelos de: "que hay si" y proporcionando respuestas a preguntas complejas y multidimensionales en forma rápida.

FIGURA 2 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE UN SIG EN LA PLANEACIÓN, ADMINISTRACIÓN E INVESTIGACIÓN EN EL TRANSPORTE

"Lo que distingue a un SIG de una base tradicional de datos es que los atributos de éstos, están asociados a un objeto topológico (punto, línea, polígono) y registran una ubicación geográfica precisa" (Simkowitz, 1988). La utilización de relaciones espaciales, propuesta explícitamente por los SIG, agrega un nivel de "inteligencia" a las bases de datos en transporte, hasta el momento subestimado.

INTRODUCCIÓN

TransCAD es un revolucionario sistema para la administración y análisis de información de transporte. TransCAD permite visualizar todos los tipos de transporte relacionados con sus datos geográficos en una forma más amigable.

TransCAD combina una serie de elementos para facilitar el mapeo digital, la administración de datos geográficos y la presentación con herramientas gráficas para proyectos de transporte, investigación de operaciones y modelos estadísticos. TransCAD tiene aplicaciones para todos los tipos de datos de transporte y para todos los modos de transporte, por lo que es ideal para construir sistemas de información en transporte y sistemas de soporte de decisiones.

TransCAD es un Sistema de Información Geográfica utilizado en la solución de problemas de transporte, ya que provee un conjunto integrado de algoritmos más recientes, para resolver problemas analíticos en la planeación, manejo y operación de los transportes urbanos. Este paquete también es una plataforma adecuada para el desarrollo de sistemas de apoyo en la toma de decisiones con aplicaciones al transporte.

El TransCAD como SIG, es una base de datos que integra una serie de herramientas geográficas. La técnica que los SIG utilizan consiste de datos geo-relacional, asociado con un conjunto de información geográfica en forma de planos/mapas con base a los datos digitales. Entre la información que los SIG proporcionan está:

- Tipos de ocupación de suelo (representación de áreas densas, medianas y poco densas)
- Áreas servidas y no servidas por el transporte público

Estos paquetes combinan informaciones de fotografías aéreas, mapas, videos, imágenes de satélite, censos y levantamientos topográficos. Las principales aplicaciones en diversos campos son:

- La realización de proyectos de investigación
- La administración de recursos
- La planificación de nuevas actividades

Para todo esto se requiere de un sistema de cómputo que construya, ordene, manipule y represente los datos de acuerdo con su posición en un plano o en el espacio. Para el caso del transporte público algunas aplicaciones son: administración de la construcción, planeación de los transportes, ingeniería del tránsito, planeación urbana, distribuciones logísticas, operaciones de tráfico, tasas vehiculares (privados, prioridad a los servicios de emergencia, entre otros).

USO DEL PAQUETE TransCAD

En esta sección se explicará el uso del paquete de manera paralela al desarrollo de un problema (dividido en 3 etapas) basado en una ciudad hipotética llamada Flintbury. Durante la explicación de la serie de pasos para resolver el problema, se practicarán y se explicarán paso a paso el uso de las características más importantes del TrasCAD.

ETAPA 1. PATRONES DE VIAJE EN FLINTBURY

En la primera etapa de uso del programa se usará TransCAD para hacer, salvar e imprimir un mapa de Flintbury que muestra los modos de transporte existentes en la zona y los volúmenes de tránsito. Primero se creará una vista general del mapa de la ciudad. Entonces se adicionarán los datos de los modos de transporte existentes, y los datos de volúmenes de tránsito.

(a) Creando la Vista General del Mapa

Primero es necesario iniciar el paquete haciendo doble click en el icono de TransCAD. El primer paso para crear una vista general del mapa de la ciudad es necesario que se cuente con un archivo geográfico de la ciudad que se desea analizar (de preferencia debe tener extensión .cdf, aunque es posible emplear los mapas del INEGI). A continuación se enumeran los pasos a seguir:

1. Llegir *File-Open* o hacer click  en la barra de herramientas.
2. Aparece la pantalla de *Abrir Archivo (FIGURA 3)*, en donde en la opción de *Tipo de Archivo* es necesario elegir *Archivo Geográfico*.
3. Elegir del *folder Tutorial* desde la *lista de directorios* (para el presente ejemplo, se emplearán bases de datos que ya proporciona el programa, pero para realizar el análisis de cualquier ciudad es necesario contar tanto con los mapas topográficos, con divisiones políticas, con localización de las rutas de transporte existentes en la zona: así como bases de datos estadísticas relacionadas con datos de los sistemas de transporte y usuarios como son longitudes de las rutas y distancias de tramos y entre paradas, hora de llegada de las unidades, a nivel de paradas importantes, terminales, puntos de control o sección de máxima demanda, carga que se presenta en la sección de máxima demanda, por periodos de servicio (hora de máxima demanda y hora valle), demanda total de viajes o ascensos pagados totales, velocidad comercial y de operación, por ruta y entre puntos de control, ingreso a nivel de ruta, ascensos por tipo de tarifa, en caso de existir alguna diferenciación, ascensos y descensos de usuarios a nivel parada, índice de transbordos entre rutas, características y actividades del usuario, tales como: edad, sexo, ocupación, actitudes hacia el nivel de servicio, ingreso, tenencia

y disponibilidad del automóvil, puntos generadores, entre otros: patrones de viaje del usuario, tales como: origen y destino, puntos atractores, variaciones horarias, distribución modal y frecuencia de viajes, entre otros aspectos; condiciones físicas, tales como: número de carriles, pendientes, semáforos, número, diseño y espaciamiento de paradas, entre otros aspectos; aspectos relacionados a las condiciones del tránsito, como son: nivel de servicio, estacionamiento, áreas de carga y descarga y cruces peatonales, entre otros aspectos).

4. Seleccionar el archivo FL_ZONE.CDF
5. Presionar OK.

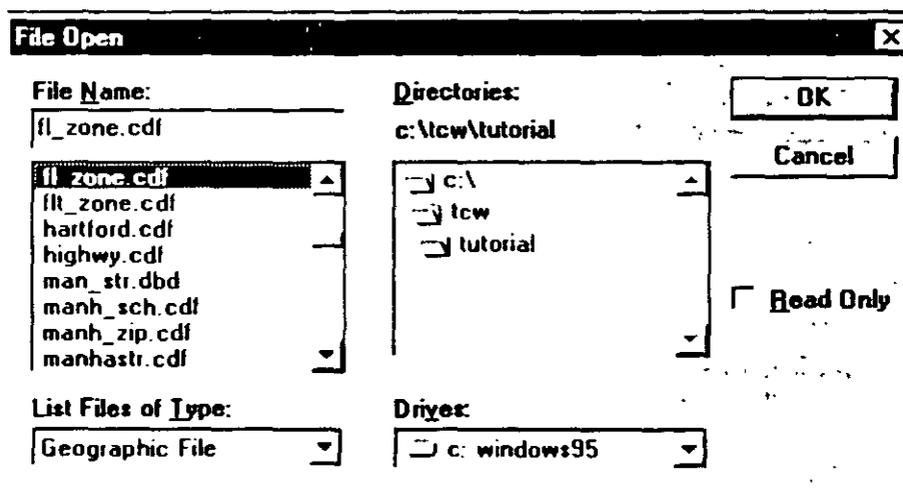


FIGURA 3 PANTALLA PARA ABRIR ARCHIVOS EN TransCAD

(b) Etiquetado de Zonas

1. Elegir  en la barra de herramientas.
2. En la pantalla que aparece, FIGURA 4, correspondiente a *Etiquetas*, se elige el campo ZONA desde la primera lista que aparece.
3. En las opciones de TAMAÑO y TIPO DE LETRA, es posible modificar el tipo de letra y el tamaño de la misma que sea del gusto del usuario para trabajar, asimismo, es posible modificar el ESTILO de la letra y el COLOR en las siguientes opciones. Una vez elegidas las opciones anteriores, se elige el botón OK.

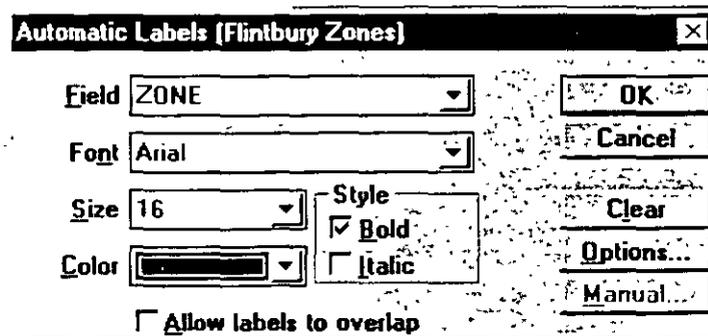


FIGURA 4 PANTALLA DE ETIQUETAS

Una vez elegidas el formato de las etiquetas, así como que se deseaba etiquetar las zonas, TransCAD dibuja el mapa, desplegando a la vez el número de identificación de cada zona.

(c) Adicionar las calles de la ciudad al mapa

1. Seleccionar *Mapa*-“*Capas*” o elegir  en la barra de herramientas.
2. Al trabajar con TransCAD, es posible trabajar al mismo tiempo con varias “capas” que contienen información diferente relacionada con la misma ciudad, en la ventana que aparece es posible visualizar las diferentes secciones con las que se está trabajando, así como adicionar nuevas “capas” de trabajo o de borrar alguna existente e inclusive de ocultarlas para que permanezcan desactivadas mientras no sean utilizadas. En el caso del ejemplo, para adicionar una “capa” relacionada con las calles de la ciudad, se elige el botón *Adicionar “Capa”*
3. Para poder contar con esta “capa” de trabajo es necesario contar con un archivo que contenga la red de calles con las que cuenta la ciudad. En este ejemplo se seleccionará el archivo geográfico llamado FL_STCDF desde el folder de tutorial y presione OK. TransCAD adicionará las “capas” llamadas *Nodos de Flintbury* y *Calles de Flintbury*.
4. Elija el botón *Cerrar*

TransCAD adicionará las calles de Flintbury al mapa. La “capa” de *Nodos de Flintbury* se encuentra oculta, posteriormente se utilizará. Un mapa puede contener cualquier número de “capas”. Es posible usar la caja de diálogo de “capas” para adicionar “capas” o remover las secciones no necesarias en el mapa, así como controlar el orden en el cual son desplegadas.

(d) Cambiar el estilo de las zonas

1. Elegir la “capa” de *Zonas de Flintbury* desde la barra de herramientas localizada en la parte superior de la pantalla donde se listan las “capas” (FIGURA 5).

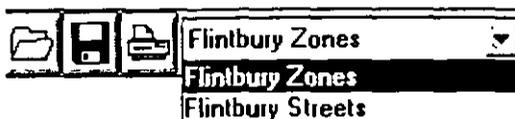


FIGURA 5 LOCALIZACIÓN DE LA LISTA DE "CAPAS" ACTIVAS EN TransCAD

2. Elija  en la barra de herramientas. Al elegir esta opción aparece una pantalla (FIGURA 6) en la cual es posible modificar la presentación de el mapa, como son el estilo de línea del borde, ancho del borde, color del borde, así como el estilo del relleno de las zonas y el color de relleno. Estas opciones es posible elegir las al gusto del usuario, ya que permiten trabajar en un ambiente más agradable.

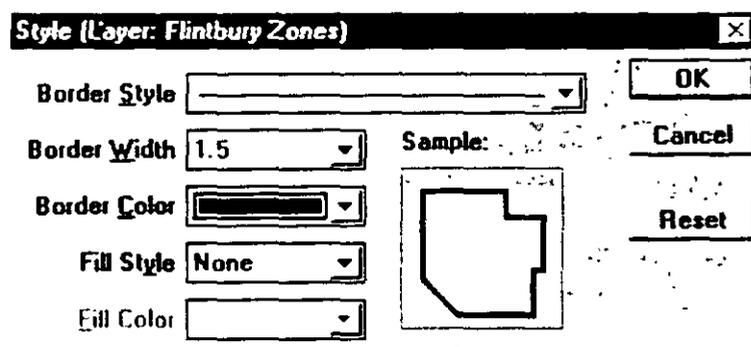


FIGURA 6 PANTALLA PARA MODIFICAR EL ESTILO DE LA "CAPA" DE ZONAS

TransCAD dibujará nuevamente el mapa, en esta ocasión, la división de las zonas se verá más claramente. A continuación se adicionará un título al mapa.

(e) Adicionar el título al mapa

1. Elegir el botón  en la barra de herramientas para activar la herramienta de texto.
2. En este momento, el cursor toma la forma de cruz "+", presionando el botón izquierdo del mouse es posible arrastrar un rectángulo que se va dibujando, dependiendo del tamaño del que se desee el texto.
3. Una vez que se tiene el cuadro, es posible escribir el título **Flintbury** y presionar *Enter*. En este momento queda fijo el título que se desee dar al área de trabajo.

Existen otras herramientas de dibujo en la barra de herramientas para adicionar círculos, rectángulos, rectángulos redondeados, líneas, curvas, formas, bitmaps y símbolos en los mapas. Una vez que se escribe el título, es posible hacerlo más pequeño o grande o moverlo.

(f) Mover o Cambiar el Tamaño del Título

1. Seleccionar  en la barra de herramientas para activar la herramienta de puntero.
2. Elegir el título, al realizar esta acción es posible modificar el tamaño del título posicionándose en los cuadros que aparecen alrededor del título. Para cambiar de lugar el título, coloque el cursor en el título y arrastre el mouse a la nueva posición deseada.

(g) Salvar el trabajo

1. Elija la opción *Archivo-Salvar* o presiones el botón  en la barra de herramientas (**FIGURA 7**)
2. Escriba el nombre que desee al mapa de archivo y presione el botón OK.

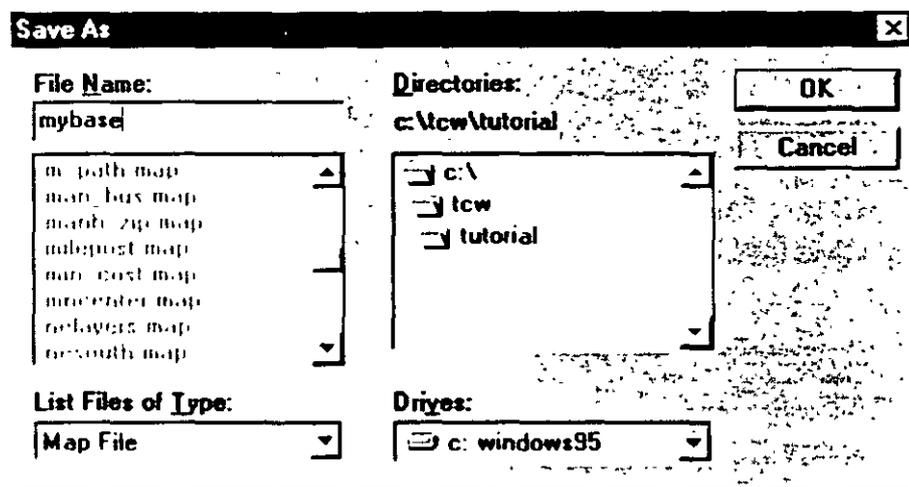


FIGURA 7 PANTALLA PARA SALVAR EL ARCHIVO DE TRABAJO

TransCAD salva el mapa en un archivo en disco. En este archivo se salvará la vista general del mapa de Flintbury.

Ahora se incluirán los datos referentes a los viajes en Flintbury (zona de estudio) y se verá cómo se puede usar esta información para hacer el mapa un poco más interesante. La “capa” de Zonas de Flintbury contiene datos de cada una de las zonas de Flintbury (para trabajar con esta información, es necesario contar con bases de datos ya incorporadas a cada división política).

(h) Datos correspondientes a la “capa” de Zonas de Flintbury

1. Verifique que la “capa” de Zonas de Flintbury se encuentra activa en la barra de herramientas.
2. Presione el botón  en la barra de herramientas.

En este momento, TransCAD despliega los datos cargados en la "capa" de las Zonas de Flintbury en una ventana de datos (**FIGURA 8**). Cada renglón en la ventana contiene datos de cada una de las zonas de Flintbury, como por ejemplo: población, tipos de empresa existentes en la zona, modos de transporte existentes, entre otros.

ID	AREA	DATA	[DATA:1]	ZONE	POPULATION	[MANUF EMP]	[SERVICE EMP]
18409	95.47	18409	1	1	33773	70	301
10806	92.06	10806	4	4	41953	798	716
8003	118.38	8003	10	10	33175	2533	215
26812	8.24	26812	8	8	33563	10284	764
13546	33.89	13546	11	11	47691	16560	558
16156	74.99	16156	12	12	32438	254	234
21882	7.90	21882	7	7	29804	237	866
22073	4.98	22073	6	6	26661	16040	1301
36315	72.38	36315	3	3	10798	37	40
29569	68.96	29569	2	2	46394	2136	314
33051	55.18	33051	9	9	38001	483	255
24461	15.60	24461	5	5	55181	251	307

FIGURA 8 VENTANA DE DATOS DE LAS ZONAS DE FLINTBURY

(i) Distribución de los Modos de Transporte existentes en Flintbury

1. Seleccione *Archivo-Cerrar* para cerrar la ventana de datos de las Zonas de Flintbury.
2. Verifique que la "capa" Zonas de Flintbury permanezca activa en la barra de herramientas.
3. Elija la opción *Mapa- Colores* o presione el botón  en la barra de herramientas.
4. Seleccione TRANSIT_SHARE en la opción de campo (**FIGURA 9**). TransCAD llenará automáticamente las otras opciones con los valores que tiene asignados por default, aunque es posible modificar los mismos. Para terminar esta opción presione el botón de OK.

TransCAD toma la información correspondiente a los modos de transporte y dibuja cada zona con diferente color, en función de las diferentes combinaciones de los modos de transporte que es posible utilizar. También es posible incluir en el mapa datos relacionados con los volúmenes de tránsito en cada zona.

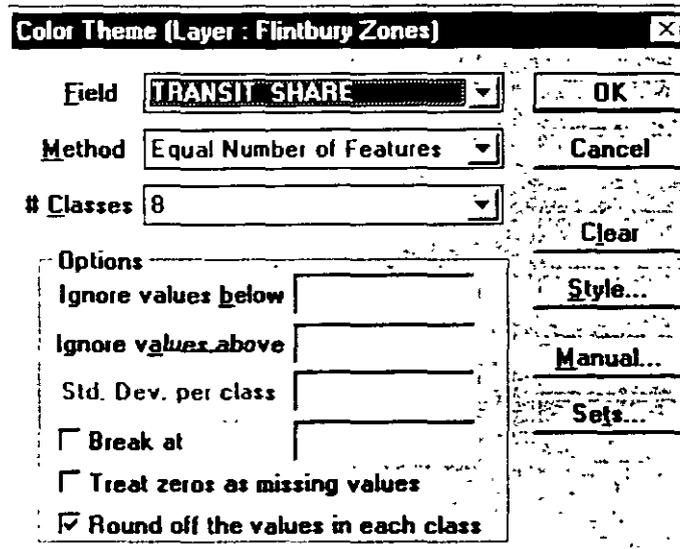


FIGURA 9 PANTALLA DE COLORES PARA LAS "CAPAS"

(j) Abrir el Archivo de Información de Calles

1. Seleccione *Archivo-Abrir* o presione  en la barra de herramientas.
2. En la opción de *Tipo de Archivos* seleccione un archivo *Binario de Formato Fijo*.
3. Para el presente problema selecciones el archivo *FL_STDAT.BIN* (FIGURA 10) desde el folder de tutorial (para trabajar estos datos en la zona que se desee estudiar, ya se debe contar con esta información previamente). Al terminar, presione OK.

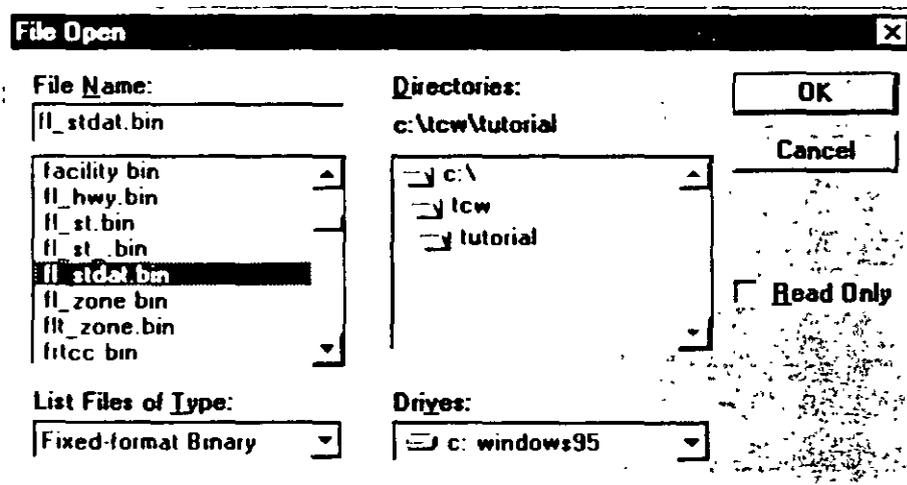


FIGURA 10 VENTANA PARA ABRIR ARCHIVOS CORRESPONDIENTE A LA INFORMACIÓN DE CALLES EN FLINTBURY

Entonces, TrasCAD despliega el archivo en una ventana de datos (**FIGURA 11**), en donde cada renglón de la ventana corresponde a un segmento de una calle en Flintbury, y cada columna contiene información diferente acerca de cada segmento, como velocidad de operación, tiempo de viaje, tipo de área, direcciones de la vía, número de carriles, estacionamientos, ancho de carril, entre otra información.

TREET ID	Name	Area Type	DIRECCION	LANES	PARKING	LANE WIDTH (FT)
69035	Genesee	3	2	2	0	12
68915	Genesee	3	2	2	0	12
66996	Bray	5	2	2	0	11
66945	Bray	5	2	2	0	11
66930	State Hwy 83	5	2	2	0	11
73328	Lake	5	2	2	0	11
72776	Lake	5	2	2	0	11
72314	Irish	5	2	2	0	11
72822	State Hwy 15	5	2	2	0	12
72296	Belsay	5	2	2	0	11

FIGURA 11 VENTANA DE DATOS DE LAS CALLES EN FLINTBURY

La base de datos correspondiente a las calles puede crearse en una base de datos como dBASE, Excel, FoxPro o en muchos otros formatos que sean compatibles con windows.

Para asociar los datos del mapa con los contenidos en el archivo FL_STDAT.BIN, es necesario ligar las calles en el mapa con su respectivo renglón en la ventana de datos. Este enlace se realizará trabajando con la "capa" de calles y el archivo de datos de las calles para ligar cada identificador (ID) de las calles

(k) Asociación de la "capa" de calles con el archivo de datos de calles

1. Seleccionar *Ventana- FLINTBURY* para activar el mapa de Flintbury en la ventana.
2. Elija la "capa" Calles de Flintbury desde la barra de herramientas.
3. Para asociar los datos es necesario elegir *Ventana de Datos- Enlace* o presione el botón  en la barra de herramientas para desplegar la *caja de diálogo de enlace*. (**FIGURA 1 2**).
4. En la pantalla activa, verifique que el archivo FL_STDAT se encuentre activo en la opción de *Ventana de Datos*.

5. Verifique que [STREET ID] se encuentre desplegado en la opción de *Campo*. Finalmente, seleccione el botón OK.

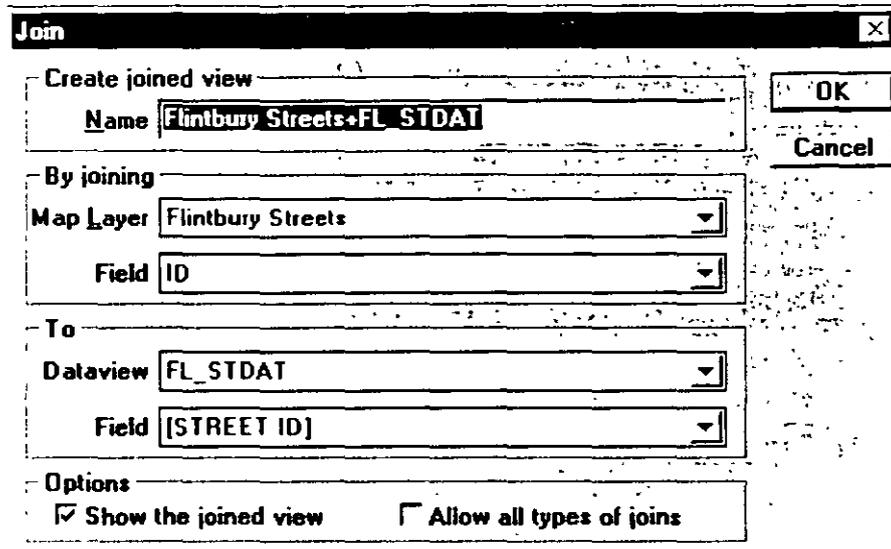


FIGURA 12 VENTANA DE ENLACE PARA LAS CALLES DE FLINTBURY Y LOS DATOS CORRESPONDIENTES A LA ZONA DE ESTUDIO

(I) Mostrar el Flujo de Tránsito en el Mapa

1. Seleccione Ventana-FLINTBURY para activar el mapa de Flintbury en *Ventana*.
2. Verifique que la "capa" Calles de Flintbury se encuentre activa en la barra de herramientas.
3. Presione  en la barra de herramientas.
4. Entonces, aparecerá una pantalla (**FIGURA 13**) para asignar la información de volumen de tránsito al mapa de Flintbury, elija [EST VOLUME] en la opción de campo y en características, elija la opción que le permite integrar los volúmenes a la escala presentada en pantalla.

En este momento, TransCAD dibuja un mapa (**FIGURA 14**) en el cual el ancho de cada calle es proporcional al flujo que transita por la misma.

Posteriormente, es necesario salvar el archivo, utilizando el procedimiento que se explicó anteriormente (para salvar se pueden emplear dos caminos, elegir *Archivo-Salvar Como* ó presionando el botón  localizado en la barra de herramientas).

Para imprimir el mapa seleccione *Archivo-Imprimir* o presione el botón  en la barra de herramientas.

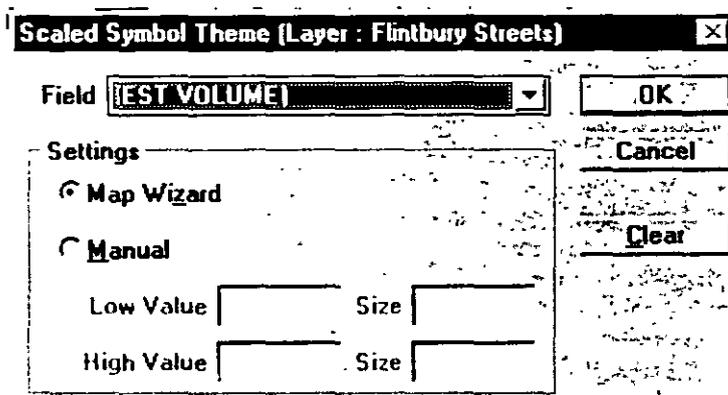


FIGURA 13 PANTALLA DE ASIGNACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO QUE CIRCULA EN LAS CALLES DE FLINTBURY

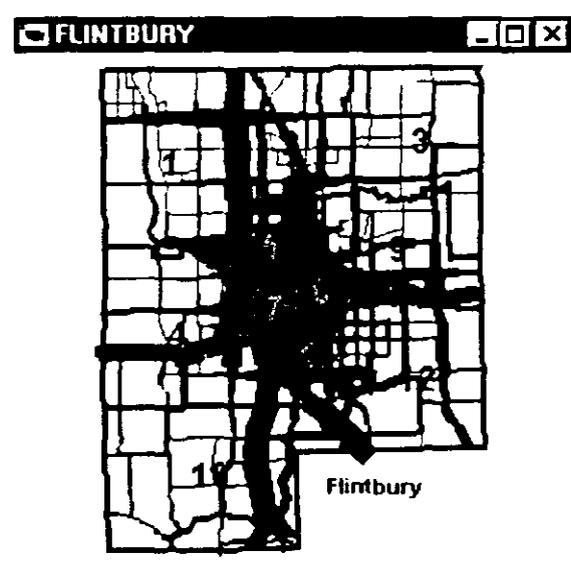


FIGURA 14 MAPA DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO EN FLINTBURY (el ancho de la línea en cada calle es proporcional al flujo que circula por ella)

A continuación, se iniciará la etapa 2 del problema que se está desarrollando para hacer uso de las principales herramientas del TransCAD

2.2.11.3.2 ETAPA 2. SISTEMA DE AUTOBUSES DE FLINTBURY

En la segunda etapa se realizará un análisis del servicio de autobuses con el que cuenta Flintbury. En particular, se investigará la accesibilidad del sistema de autobuses y las características de los usuarios del servicio.

ETAPA 2.1 HACIENDO UN MAPA DE LAS RUTAS DE AUTOBÚS

En la etapa anterior, se creó una vista general del mapa de Flintbury mostrando las zonas y calles. Se usará ese mapa para integrar el mapa de rutas de autobús.

El primer paso a seguir es abrir el archivo que se guardó primero, que corresponde a la vista general del mapa de Flintbury, para abrir un archivo puede elegir la opción Archivo-Abrir o presionar el botón  en la barra de herramientas.

(a) Adicionar el Archivo de Sistema de Rutas al mapa

1. Seleccione *Mapa- "Capas"* o presione el botón  en la barra de herramientas.
2. Presione el botón *Adicionar "Capa"*, para proporcionarle una "capa" al Sistema de Rutas de Autobús al mapa. (FIGURA 15)

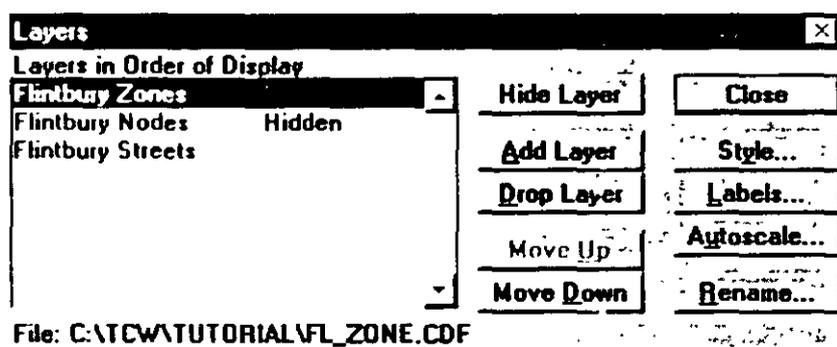


FIGURA 15 PANTALLA DE "CAPAS" DONDE SE ADICIONARÁ LA "CAPA" DE RUTAS DE AUTOBÚS

3. Posteriormente, se abrirá una pantalla de *Abrir Archivo* (similar a las que ya se han presentado anteriormente), en la cual de la *Lista de Tipo de Archivo* se debe elegir la opción de *Sistema de Rutas* para abrir un archivo de este tipo (el archivo con esta información ya debe estar integrada a la base de datos con la que se va a trabajar), para este ejemplo, se debe elegir el archivo

FL_BUS.RTS y presione OK, entonces TransCAD adicionará FRTC Rutas de Autobús a la Lista de "capas" (FIGURA 16). Presione el botón Cerrar.

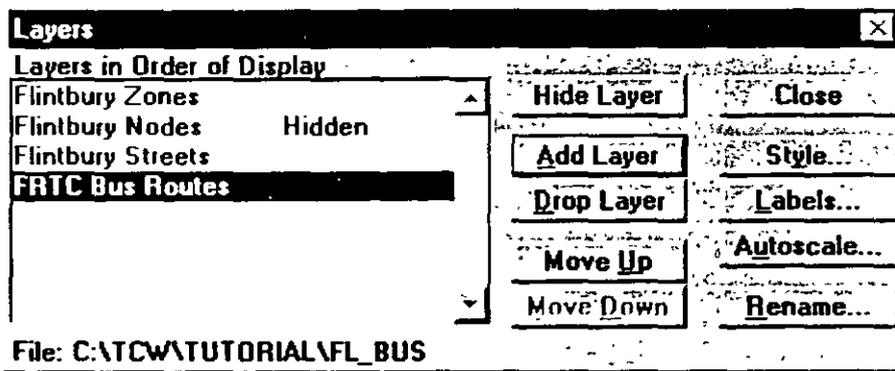


FIGURA 16 PANTALLA DE "CAPAS" CON LA "CAPA" DE RUTAS DE AUTOBUSES

En este momento, TransCAD adiciona la "capa" de Autobuses de Flintbury al mapa.

Para poder visualizar cada segmento de las rutas es posible emplear la herramienta de "zoom", para emplearla es necesario elegir los botones  con los cuales es posible aumentar o disminuir el tamaño del segmento que se elija

(b) Crear Bandas de zona de influencia de las Rutas de Autobús

1. Verifique que la "capa" FRTC Rutas de Autobús se encuentre activa en la barra de herramientas.
2. Seleccione *Herramientas-Bandas*.
3. Entonces aparece la pantalla de bandas (FIGURA 17) en donde en la opción de *Creación de una "capa"* escriba *Áreas de Servicio* y los tamaños de las bandas serán de: 0.25,0.50,0.75.

Entonces, TransCAD crea una nueva "capa" llamada *Áreas de Servicio* y la adiciona al mapa mostrando la zona de servicio del sistema de autobuses.

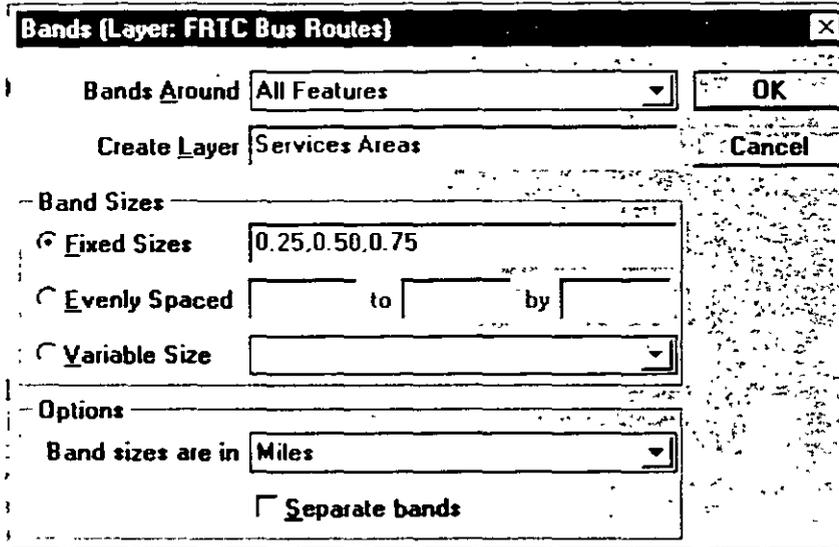


FIGURA 17 PANTALLA DE BANDAS PARA RUTAS DE AUTOBÚS

Es interesante conocer la población que se encuentra en cada banda, esto es posible calcularlo como se muestra a continuación

1. Elegir la "capa" Áreas de Servicio en la barra de herramientas.
2. Seleccione *Herramientas-Insertar* para que se despliegue la caja de diálogo para cubrir la Zona Geográfica en estudio (FIGURA 18). En la opción de ventana de datos elija Zonas de Flintbury y presione OK.

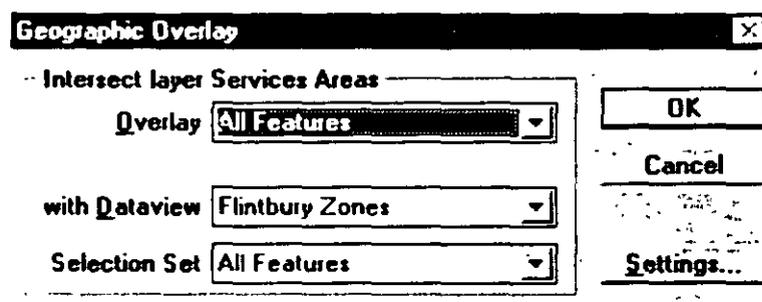


FIGURA 18 CAJA DE DIÁLOGO DE ZONA GEOGRÁFICA CUBIERTA POR LAS RUTAS DE AUTOBÚS

TRANS CAD calcula los atributos de las bandas considerando la zona de influencia de las mismas, y se despliega una pantalla de *Áreas de Servicio cubiertas* (FIGURA 19), en la cual hay una columna llamada SUMPOPULAT, la cual contiene la población que vive entre cada banda. De los

resultados obtenidos en este ejemplo, de la población de Flintbury que es de 430 000 habitantes, alrededor del 35% de los ciudadanos viven entre ¼ millas del sistema de autobuses.

[Services Areas].ID	Area	WIDTH	[Overlay Data].ID	SUMID	SUMAREA	SUMDATA
3	27.92	0.75	3	23164.561	27.91520	23164.561
2	29.62	0.50	2	33372.389	29.62057	33372.389
1	30.52	0.25	1	40685.155	30.52474	40685.155

FIGURA 19 VENTANA DE DATOS DE LAS ÁREAS DE SERVICIO CUBIERTAS POR LAS RUTAS DE AUTOBÚS

ETAPA 2.2 INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PASAJEROS

Hasta el momento, se cuenta con un mapa con estadísticas de accesibilidad. Ahora se integrará información relativa a los usuarios del servicio (ya se debe contar con una base de datos con información relacionada a los usuarios, para este ejemplo se debe abrir un archivo como tipo de archivo en dBASE llamado FL_BSURV.DBF)

Al elegir la base de datos, TransCAD despliega el archivo en una ventana de datos. Cada renglón en la ventana corresponde a las respuestas del estudio por cada usuario. El archivo de estudio contiene información de las direcciones particulares de cada persona entrevistada.

(a) Localización por Direcciones

1. Seleccione *Herramientas- Localización por Direcciones* en la barra de herramientas para desplegar la caja de diálogo de *Localización por Direcciones (FIGURA 20)*. TransCAD automáticamente encuentra los campos de datos (dirección y código postal) necesarios para continuar con el estudio y aparece una nueva caja de diálogo, donde se elegirá el estilo de la figura que indicará en el mapa la localización de la dirección del usuario de autobús entrevistado (*FIGURA 21*). Una vez elegido el estilo del localizador, se despliega en el mapa la localización de direcciones.
2. Adicionalmente, TransCAD despliega una ventana de datos (*FIGURA 22*) que contiene la longitud y latitud del domicilio particular de cada usuario entrevistado, así como información del estudio realizado al usuario

- Posteriormente, es necesario guardar en un archivo los pasos que se han ido desarrollado hasta el momento, el usuario puede elegir el nombre que considere más adecuado.

TransCAD crea una nueva "capa" conteniendo un punto por cada usuario estudiado y adiciona esta "capa" al mapa.

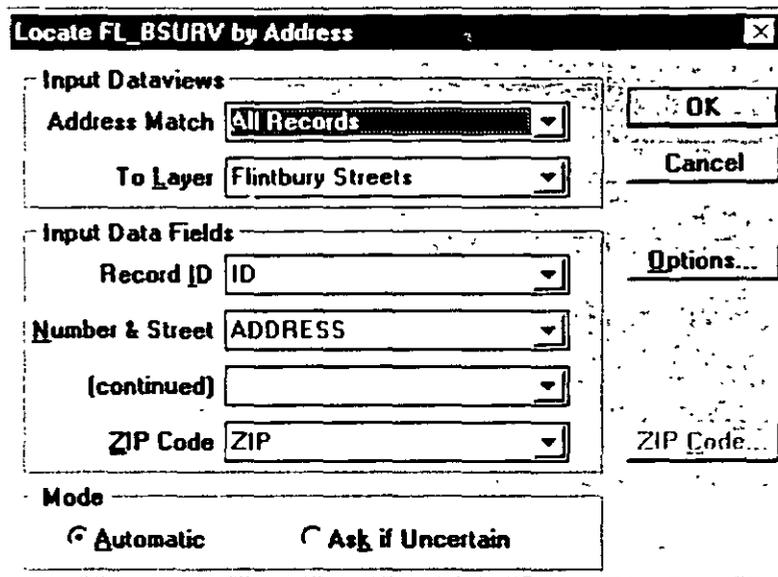


FIGURA 20 CAJA DE DIÁLOGO: LOCALIZACIÓN POR DIRECCIONES

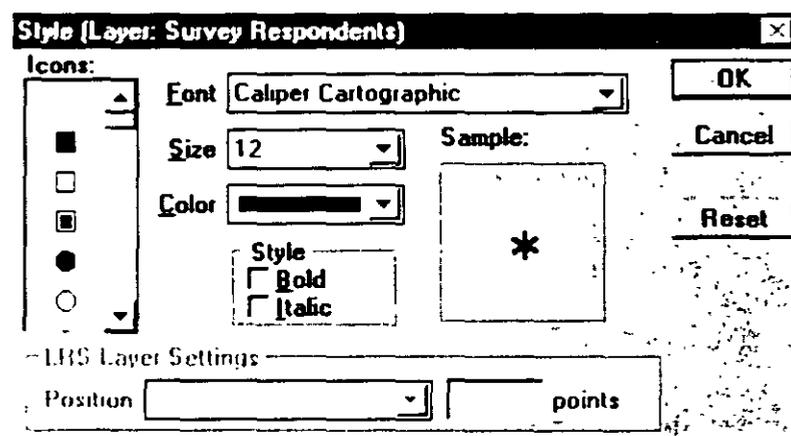


FIGURA 21 CAJA DE DIÁLOGO PARA ELEGIR EL ESTILO DEL LOCALIZADOR DE DIRECCIONES PARTICULARES DE LAS PERSONAS ENTREVISTADAS

FIELD	COUNT	SUM	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STD_
ID	395	92969	1	463	235.36	13
Longitude	395	-33058908544	-83856674	-83484230	-83693439.35	6358
Latitude	395	17000886295	42869416	43149834	43040218.47	4691
GENDER	395	183	0	1	0.46	
AGE	395	15347	7	82	38.85	1
HH_SIZE	395	1276	1	9	3.23	
AUTOS	395	700	0	5	1.77	
HHINC1000S	395	13528	0	95	34.25	2
NUM_CHILD	395	265	0	5	0.67	

FIGURA 22 VENTANA DE DATOS DEL ESTUDIO REALIZADO A LOS USUARIO DEL SERVICIO DE AUTOBÚS

El nuevo mapa mostrado revela, que la mayor parte de los usuario de autobús viven entre las banda de 0.75 millas de las rutas de autobús. Esta nueva "capa" se llama FL_BSURV:1, para renombrar una "capa" y poder asociarla con un nombre más amigable para el usuario del paquete, es posible seguir los siguientes pasos:

1. Seleccione *Mapa- "Capas"* o presione el botón  en la barra de herramientas para desplegar la caja de diálogo de "capas".
2. Elija FL_BSURV:1 en la lista de "capas".
3. Presione el botón de *Renombrar* para que aparezca la caja de diálogo de *Renombrar "Capa"*.
4. En la opción de *Nuevo Nombre* es posible dar el nuevo nombre a la "capa", escriba *Estudio de Usuarios*. Presione OK y cierre la ventana de "capas".

En este momento, TransCAD renombra la "capa".

(b) Cálculo de Estadísticas

1. Seleccione *Ventana- Nueva Ventana de Datos* para desplegar una nueva caja de diálogo de datos.
2. Elija *Estudio de Usuarios* en la lista y presione OK para ver la ventana de datos asociada con la "capa" estudios de usuarios.
3. Selecciones *Ventana de Datos- Estadísticas*.

TransCAD calcula un resumen estadístico para cada campo de estudio, incluyendo, máximos, mínimos y medias y despliega los resultados en una ventana de datos (*FIGURA 23*).

FIELD	COUNT	SUM	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STD.
ID	395	92969	1	463	235.36	13
Longitude	395	-33058908544	-83856674	-83484230	-83693439.35	6359
Latitude	395	17000886295	42869416	43149834	43040218.47	4691
GENDER	395	183	0	1	0.46	
AGE	395	15347	7	82	38.85	1
HH_SIZE	395	1276	1	9	3.23	
AUTOS	395	700	0	5	1.77	
HHINC1000S	395	13528	0	95	34.25	2
NUM_CHILD	395	265	0	5	0.67	

FIGURA 23 VENTANA DE DATOS DE LAS ESTADÍSTICAS DEL ESTUDIO REALIZADO A LOS USUARIOS DE LAS RUTAS DE AUTOBÚS

Es posible ocultar algunos datos que no sean de utilidad para el usuario de la ventana de datos, para ocultar cualquier renglón o columna es necesario seleccionarlo posicionándose en el renglón o columna y haciendo click, con el botón izquierdo del mouse en la zona que se desee, y, posteriormente se presiona el botón  en la barra de herramientas. TransCAD oculta la columna o renglón seleccionado.

Ahora se generarán estadísticas para una serie particular de usuarios. Primero es necesario encontrar a los usuarios que viven dentro de ¼ de milla del sistema de autobús.

(c) Seleccionar características por Localización

1. Seleccione *Ventana-Estudio de Usuarios* para activar la ventana de datos del estudio a los usuarios.
2. Seleccione *Ventana de Datos- Seleccionar por localización* para desplegar la caja de diálogo de selección por localización (*FIGURA 24*).
3. Elija FRTC Rutas de Autobús desde la primera opción que se presenta en la pantalla.
4. En este caso, es de interés el área que se encuentra entre las 0.25 millas de distancia, entonces se elige esta opción. Presione OK.

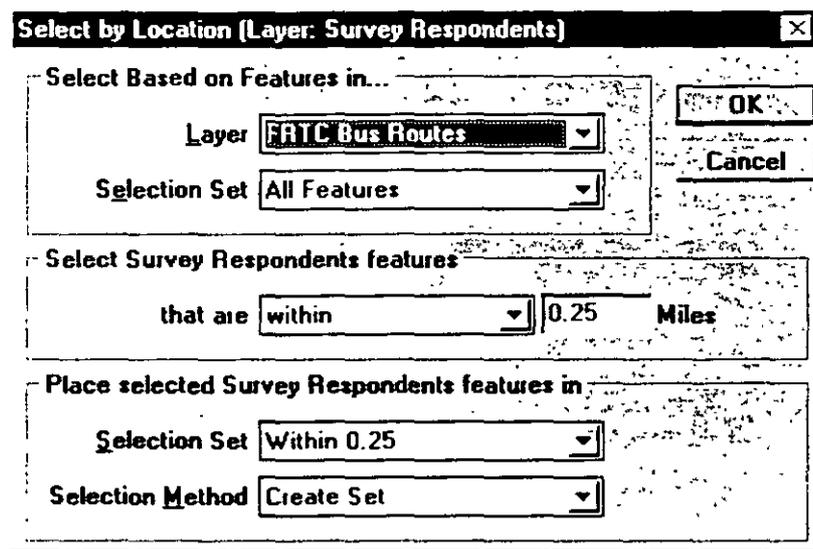


FIGURA 24 CAJA DE DIÁLOGO:SELECCIONAR POR LOCALIZACIÓN

(d) Cálculo de Estadísticas de la Selección

1. Seleccione Dentro de 0.25 desde la lista que se presenta en la parte superior de la pantalla de la barra de herramientas para mostrar unicamente los datos incluidos en esta selección (FIGURA 25)

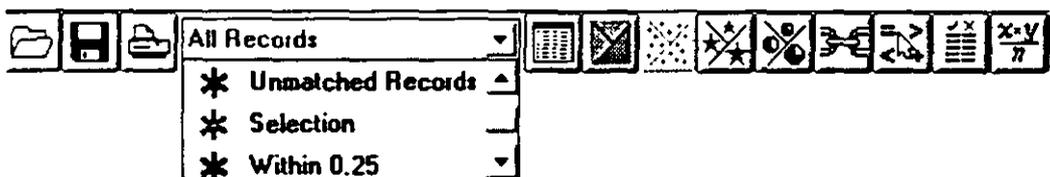


FIGURA 25 PANTALLA PARA TRABAJAR CON EL ÁREA SELECCIONADA DENTRO DE LAS 0.25 MILLAS

2. Seleccione *Ventana de Datos-Estadísticas*. En esta ocasión TransCAD calcula las estadísticas usando únicamente los datos contenidos en la selección hecha. Note que los usuarios de la ruta de autobús que viven entre las 0.25 millas del sistema de autobús tienen una baja tasa promedio de posesión de automóvil particular y tienen un promedio bajo para tiempo de viaje (FIGURA 26).
3. Seleccione *Archivo-Cerrar* para cerrar la ventana de datos.

FIELD	COUNT	SUM	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STD_DEV
ID	143	29639	4	460	207.27	137.11
Longitude	143	1969302587	83813612	-83557810	-83701416.69	59831.55
Latitude	143	6153933686	42887659	43119382	43034501.30	47065.58
GENDER	143	72	0	1	0.50	0.50
AGE	143	5229	7	76	36.57	14.84
HH_SIZE	143	469	1	7	3.28	1.25
AUTOS	143	202	0	4	1.41	1.04
HHINC1000S	143	4413	0	75	30.86	20.64
NUM_CHILD	143	81	0	4	0.57	0.97
EDUCATION	143	1774	1	17	12.41	2.51
TRAV_TIME	143	4068	1	44	28.45	7.39
WAIT_TIME	143	1354	0	21	9.47	4.62
NUMBER	143	471791	108	7994	3299.24	1941.72
ZIP	143	6934932	48423	48532	48496.03	23.55

FIGURA 26 VENTANA DE DATOS DE LAS ESTADÍSTICAS DEL ESTUDIO DE USUARIOS QUE VIVEN DENTRO DE LAS 0.25 MILLAS CERCANAS AL SISTEMA DE AUTOBÚS

Un dato interesante de los datos de estudio es el tiempo que los consumidores gastan esperando a los autobuses. Para poder realizar este estudio es necesario contar con una tabla que muestre los rangos de espera de tiempo de los usuarios para hacer uso del servicio.

(e) Producir una Tabulación del Tiempo de Espera

1. Seleccione *Ventana-Estudio de Usuarios* para activar la ventana de datos.
2. Seleccione *Procedimientos-Estadísticas* para desplegar el menú de estadísticas.
3. Elija *Estadísticas-Tabulaciones* para desplegar la caja de diálogo de tabulaciones
4. Una vez en este cuadro, en el campo 1 seleccione WAIT_TIME.
5. Posteriormente, se guardará el trabajo realizado con el nombre que le asigne el usuario.

En este momento, TransCAD crea una matriz que contiene un renglón para cada rango de tiempo de espera. Note que casi el 67% de los usuarios esperan 11 minutos o menos (**FIGURA 27**).

Ventana de Datos-Estadísticas y *Estadísticas-Tabulaciones* son dos herramientas de resumen y análisis estadístico que genera TransCAD.

	Count	Percent	Cumulative Count	Cumulative Percent
0 to 3	53.00	13.42	53.00	13.42
4 to 5	36.00	9.11	89.00	22.53
6 to 7	57.00	14.43	146.00	36.96
8	35.00	8.86	181.00	45.82
9	28.00	7.09	209.00	52.91
10 to 11	55.00	13.92	264.00	66.84
12	36.00	9.11	300.00	75.95
13	33.00	8.35	333.00	84.30
14 to 15	30.00	7.59	363.00	91.90
16 to 23	32.00	8.10	395.00	100.00

FIGURA 27 MATRIZ DE TIEMPOS DE ESPERA

Ahora se creará un histograma de tiempos de espera

(f) Creación de un Histograma

1. Seleccione la columna de porcentaje en la matriz de tiempos de espera.
2. Elija *Ventana-Nueva Gráfica* para desplejar la caja de diálogo de gráficas.
3. Una vez en la ventana de gráficas, es posible seleccionar el tipo de gráfica, si se desea que se dibuje en el plano, en 3D, así como el título de la gráfica, una vez seleccionado las opciones deseadas, presione OK

A continuación, TransCAD genera y despliega un histograma de tiempos de espera (FIGURA 28).

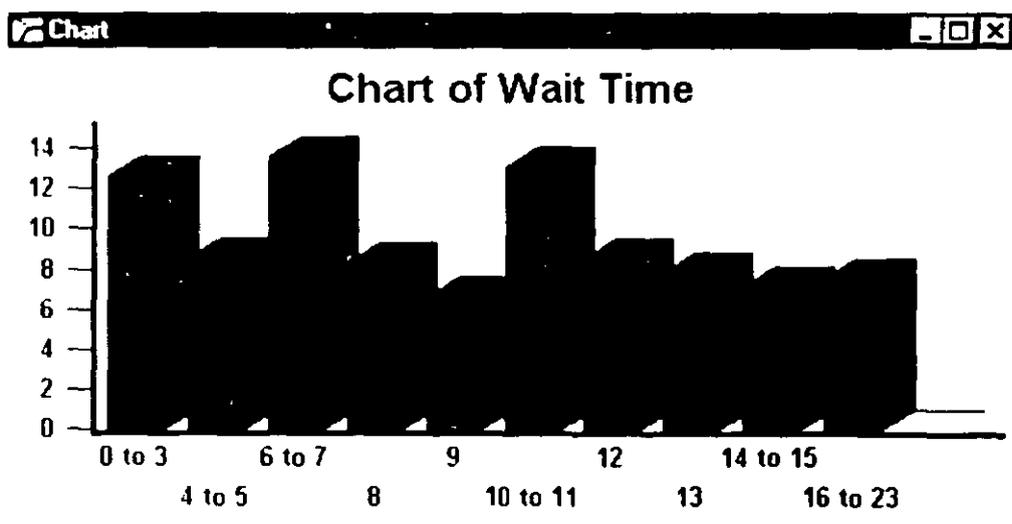


FIGURA 28 HISTOGRAMA DE TIEMPOS DE ESPERA

El estudio relacionado con el Sistema de Autobuses de Flintbury está terminado. únicamente es necesario conjuntar todos los resultados obtenidos.

ETAPA 2.3 CREANDO UNA INTEGRACIÓN DE DATOS

El siguiente paso es integrar el mapa, ventana de datos y la gráfica en una página.

(a) Crear una nueva integración de datos

1. Seleccione Ventana-Nueva integración para crear la integración de la información.
2. Aparece una ventana donde es posible modificar las características de la impresión de la hoja de integración de información.

TransCAD despliega una página de integración en blanco.

(b) Colocar el mapa en la hoja de integración

1. Presione el botón  en la barra de herramientas para activar la herramienta de lugar.
2. Dibuje un rectángulo en la parte superior de la página. TransCAD despliega una caja de diálogo (FIGURA 29) para adicionar una "capa" a la página de integración.
3. En la nueva ventana selecciones Map.FLINTBURY y presione OK.

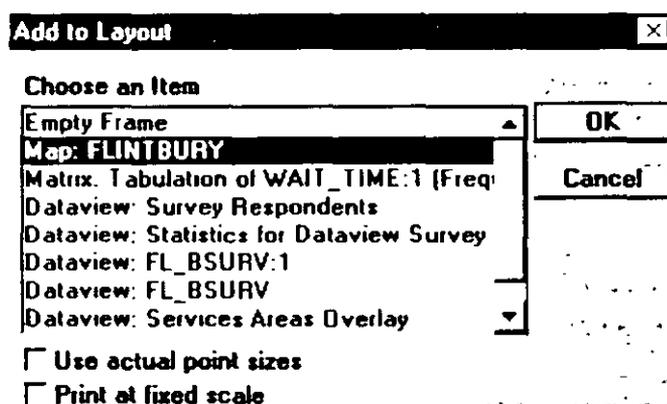


FIGURA 29 CAJA DE DIÁLOGO PARA ADICIONAR INFORMACIÓN A LA PÁGINA DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN

TransCAD integra el mapa a la página de integración. Es posible hacer más grande o más pequeño el mapa que acaba de ser integrado o cambiarlo de lugar con la ayuda del botón de punter  .. Seleccione el mapa y con la ayuda de las esquinas marcadas es posible aumentar o reducir el

tamaño del mapa. Para mover es necesario colocar el cursor en medio del mapa y moverlo a su nueva localización.

(b) Insertar un Título a la página de integración

1. Presione el botón  para activar la herramienta de texto.
2. Dibuje un rectángulo en la posición donde se desee el texto y escriba el título que el usuario considere más adecuado. Para el ejemplo se utilizará Tránsito de Flintbury y presione "enter". Si es necesario modificar el tamaño o localización del título emplee nuevamente la herramienta de puntero.

(c) Insertar la Ventana de Datos de Estadísticas en la página de integración

1. Presione el botón  en la barra de herramientas para activar la herramienta de localización.
2. Dibuje un rectángulo abajo del mapa, aparecerá la ventana para adicionar información nueva a la ventana de integración y se seleccionará Dataview:Statistics for Dataview Survey, presione OK.
3. Posteriormente aparece una ventana en la que es posible modificar el tipo de letra, el tamaño y el estilo.

TransCAD dibuja la ventana de datos en la ventana de integración. Al igual que el mapa y el título, es posible redimensionar la ventana de datos o modificar su localización.

(d) Insertar la Gráfica en la página de integración

1. Seleccione el botón  en la barra de herramientas.
2. Dibuje un rectángulo debajo de la tabla de estadísticas. TransCAD despliega nuevamente el cuadro de diálogo para adicionar información nueva a la página de integración, ahora seleccione Figure:Chart y presione OK.

TransCAD dibuja la gráfica en la página de integración. Nuevamente es posible mover y redimensionar la gráfica con la ayuda de la herramienta de puntero.

Después de esta serie de pasos, ya tenemos nuestra página de integración con la información que se deseaba mostrar conjuntamente como se puede observar en la **FIGURA 30**.

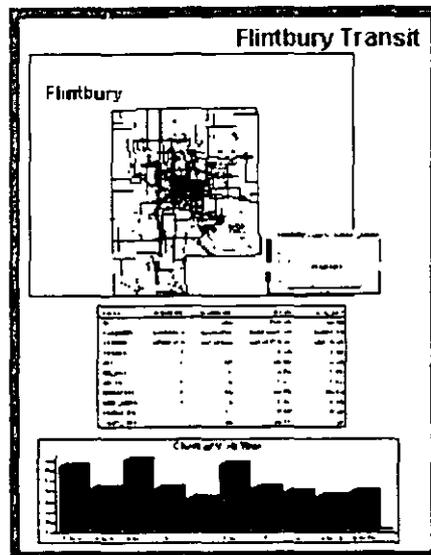


FIGURA 30 PÁGINA DE INTEGRACIÓN CON LA INFORMACIÓN DEL TRÁNSITO EN FLINTBURY

Otro paso que es necesario seguir es guardar el archivo en el que se está trabajando con la opción de *Archivo-Salvar* o presionando el botón  en la barra de herramientas.

Para imprimir la página de integración se pueden emplear dos opciones, ya sea elegir *Archivo-Imprimir* o presionar el botón  en la barra de herramientas.

ETAPA 3. EL IMPACTO DE CERRAR CALLES PARA UNA MANIFESTACIÓN

Esta etapa corresponde a la etapa final del problema que se está estudiando, aquí se analizará el impacto del cierre de algunas calles en el centro de Flintbury debido a la presencia de una manifestación (aunque esto es posible traducirlo al cierre de calles debido a algún accidente o la presencia de algún problema de descompostura de infraestructura, etc.). Se usarán las herramientas del TransCAD para comparar las personas-hora que se gastan al circular en Flintbury en condiciones normales, contra las personas-hora que se consumen al circular en condiciones de manifestación con rutas cerradas.

(a) Abrir un Mapa

1. Seleccionar *Archivo-Abrir* o presionar el botón  en la barra de herramientas.
2. Seleccione el archivo que guardó previamente en la etapa 1 de estudio que contiene los volúmenes de tránsito que circulan por la calles de Flintbury.

También es necesario desactivar los volúmenes de tránsito para dibujar las calles con un mismo ancho, para ello es necesario seleccionar el botón  en la barra de herramientas. Entonces aparecerá una pantalla donde se modifican las características de las calles (**FIGURA 31**) y se presiona el botón *Clear* y después OK.

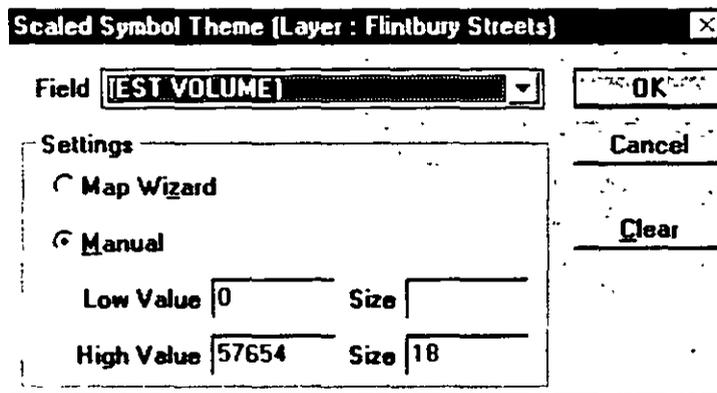


FIGURA 31 VENTANA PARA MODIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO

(b) Visualizar los datos asociados con la “capa” de calles

1. Selecciona Ventana- Nueva Ventana de datos
2. Selecciona Flintbury Streets+FL_STDAT en la lista y presione OK.

En particular, note que el campo [TRAV TIME], el cual contiene el tiempo de viaje que un automóvil emplea en recorrer cada sección de calle (en minutos) y el campo [PARADE_RTE], el cual contiene el valor de 1 si la sección de la calle será cerrada durante una manifestación. Se usaran estos campos para el análisis.

(c) “Capa” de los Nodos de las Calles

1. Selecciona Ventana-FLINTBURY para activar la ventana del mapa de Flintbury.
2. Elija Mapa-“Capas” o presione el botón  en la barra de herramientas.

- 3 En la pantalla de "capas" (*FIGURA 32*) seleccione *Nodos de Flintbury* de la lista y presione el botón *Mostrar "capa"* para activar esta sección.

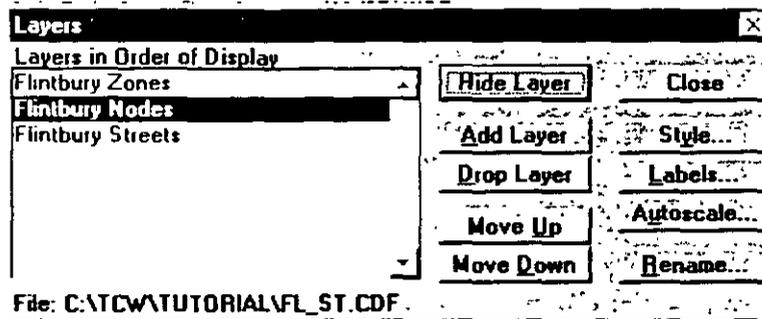


FIGURA 32 VENTANA DE "CAPAS" PARA ACTIVAR LA "CAPA" DE NODOS DE FLINTBURY

TransCAD redibuja el mapa y se despliegan los nodos en el mismo (*FIGURA 33*).

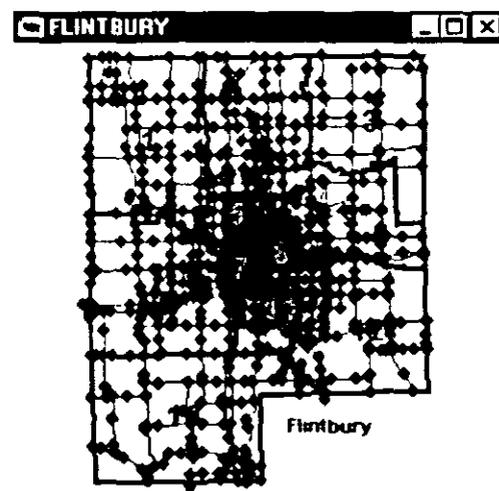


FIGURA 33 MAPA CON LOS NODOS DE FLINTBURY

(d) Datos contenidos en la "capa" de nodos

- 1 Verifique que la "capa" de *Nodos de Flintbury* se encuentra activa en la barra de herramientas.
2. Presione el botón  en la barra de herramientas

Note que el campo llamado *Centroide* Se considera que todo el flujo de tránsito dentro o fuera de cualquier zona empieza o termina en un solo punto dentro de la zona. Este punto se llama zona centroidal. En este ejemplo, únicamente tendremos 12 centroides porque Flintbury tiene 12 zonas.

(e) Selección de los Nodos Centroides

1. Seleccione *Ventana de Datos- Seleccionar por condición* o presione el botón  en la barra de herramientas.
2. Entonces, aparecerá una ventana de selección por condición (**FIGURA 34**), en la cual se dará la condición **Centroid <> null**. Esta fórmula es posible escribirla directamente en el cuadro de texto de fórmula o usando la ayuda para construir fórmulas que se encuentra en la parte de abajo del cuadro de opciones.
3. En el cuadro de texto de asignar nombre escriba Centroids y finalmente presione OK.

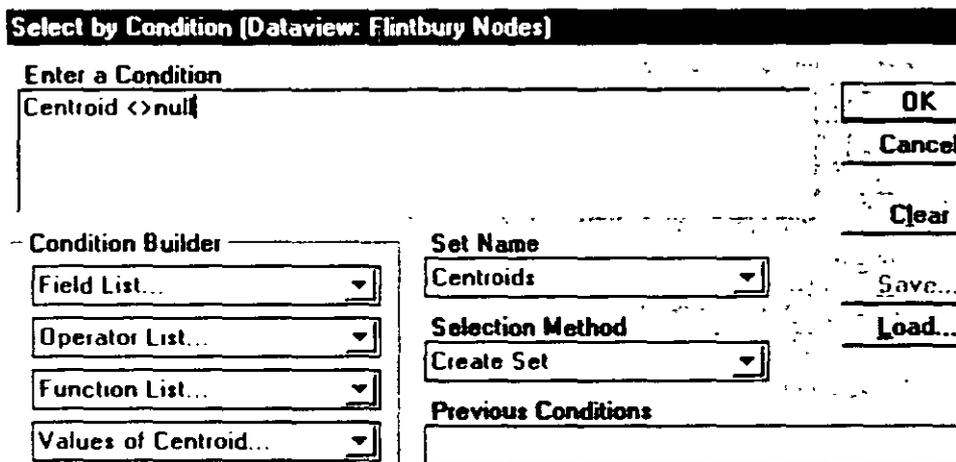


FIGURA 34 VENTANA DE SELECCIÓN POR CONDICIÓN

TransCAD crea una ventana de datos con los centroides localizados. Ahora emplearemos el archivo de la matriz que contiene el número de personas que viajan entre cada par de zonas centroidales, la cual representa los viajes en Flintbury en un día típico (ya se debe contar con la base de datos correspondiente). Entonces, es necesario abrir dicha matriz de información, para este ejemplo, el archivo es de tipo matriz y se llama FL_OD.MTX.

(f) Matriz Origen-Destino

Una vez seleccionado el archivo que contiene la información de la matriz origen-destino, se despliega una ventana en la pantalla como la que se muestra en la **FIGURA 35**.

	10622	11672	25561	29304	31350	38992	41521	44202	55470	646
10622	1	130	3750	22	122	463	1762	404	29	2
11672	3	1	49	227	161	18	30	31	1	
25561	460	78	1	1636	359	4316	1923	643	7568	
29304	91	29	1666	1	249	2124	746	62	812	
31350	65	44	396	809	1	38	136	192	1755	
38992	960	7	616	836	62	1	889	10695	1	
41521	21	108	0	0	104	917	1	124	819	10
44202	440	69	479	1731	7	7276	10	1	1771	5
55470	96	12	9857	299	350	73	2764	3	1	
64693	340	89	513	2952	0	1272	175	304	1190	

FIGURA 35 MATRIZ ORIGEN-DESTINO

(g) Crear una Red de Trabajo

1. Seleccione *Ventana-FLINTBURY* para activar la ventana del mapa de Flintbury.
2. Elija la "capa" Calles de Flintbury en la barra de herramientas.
3. Si el menú *Network Paths>Create* no se encuentra activo, seleccione *Procedure-Network Paths*
4. Seleccione *Network Paths>Create* para desplegar la caja de diálogo de *Creación de una Red de Trabajo*. (FIGURA 36)
5. En la caja de diálogo de campos opcionales seleccione los campos [TRAV TIME] y PARADE_RTE y preste OK.

A continuación aparece una nueva ventana para guardar el trabajo realizado hasta ahora, en el momento de asignar un nombre, TransCAD crea un archivo de red de trabajo.

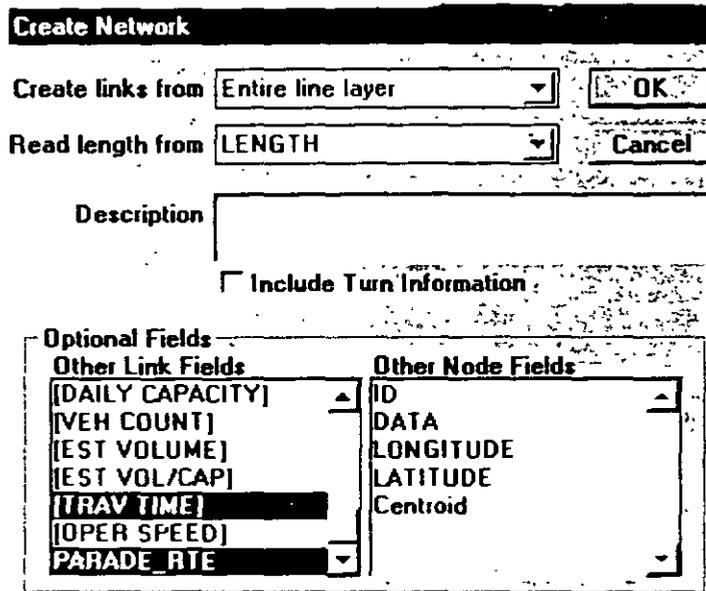


FIGURA 36 VENTANA PARA CREAR UNA RED DE TRABAJO

A continuación se calcularán dos tipos de tiempos de viaje: uno para condiciones típicas de viaje y otra para el caso en que las rutas se encuentren cerradas.

Primero se calculará el mínimo tiempo de viaje para la situación típica, es decir, cuando la ruta no se encuentra bloqueada.

(h) Cálculo de los tiempos típicos de viaje entre zonas

1. Selecciones *Network Paths-Multiple Paths* para mostrar la caja de diálogo para minimizar el tiempo de viaje
2. Una vez en la pantalla que se presenta (**FIGURA 37**) seleccione la opción de minimizar [TRAV TIME], así como la opción del cálculo de dicho tiempo de viaje de centroide a centroide y finalmente elija OK.

Posteriormente es necesario conservar un archivo con la información que se eligió.

TransCAD resuelve el problema de la ruta más corta y despliega los resultados en una pantalla de mínimos tiempos de viaje entre centroides (**FIGURA 38**).

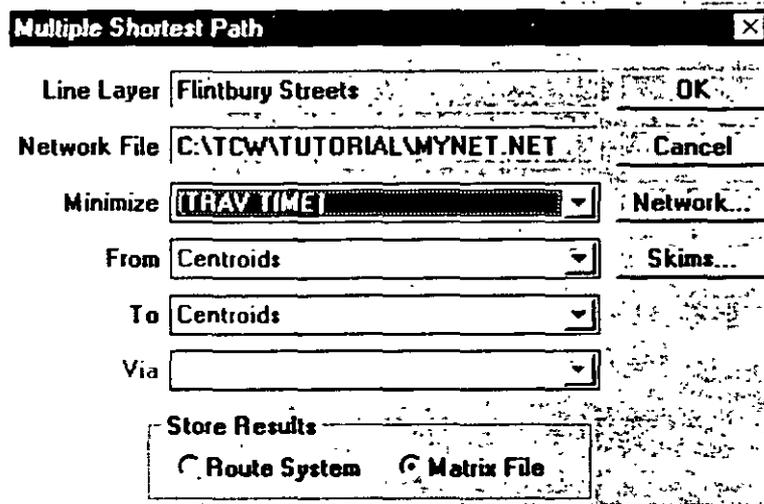


FIGURA 37 PANTALLA PARA MINIMIZAR RUTAS MÚLTIPLES EN TIEMPO DE VIAJE

Shortest Path ([TRAV TIME])											
	10622	11672	25561	29304	31350	38992	41521	44202	55470	64693	68365
10622	0 00	20 72	23 51	31 28	41 48	21 18	24 99	28 18	26 63	41 13	38 56
11672	20 72	0 00	16 00	28 78	26 63	11 69	15 48	18 68	16 60	31 64	29 07
25561	25 22	16 02	0 00	18 18	32 53	10 87	10 56	15 34	9 25	29 99	19 56
29304	31 28	28 79	18 18	0 00	45 31	23 64	23 34	27 77	19 54	40 34	22 73
31350	41 48	26 63	33 25	45 65	0 00	26 04	24 27	20 80	28 18	21 17	34 25
38992	21 18	11 69	10 22	23 00	26 07	0 00	5 11	8 73	8 06	22 98	18 75
41521	24 49	15 00	9 87	22 64	26 43	4 62	0 00	7 40	5 91	22 25	16 21
44202	28 18	18 68	15 34	27 77	22 11	8 73	6 48	0 00	10 30	17 74	15 77
55470	28 40	18 91	9 25	19 54	28 79	9 08	6 65	10 30	0 00	22 87	12 40
64693	41 13	31 64	29 90	40 19	21 17	22 98	21 21	17 74	22 73	0 00	27 91
68365	38 56	29 07	19 56	22 73	34 25	18 75	16 21	15 77	12 40	27 91	0 00
70994	49 02	39 53	32 06	34 80	31 67	29 15	26 22	24 26	24 88	20 40	20 40

FIGURA 38 MÍNIMOS TIEMPOS DE VIAJE ENTRE CENTROIDES DE FLINTBURY

(i) Renombrar del Archivo de la Matriz OD y de la Matriz

Este paso es conveniente para diferenciar los dos comportamientos del tránsito para las diferentes condiciones, en condiciones normales y con manifestación.

1. Seleccione *Matrix-Contents* o presione el botón  que se despliega en la barra de herramientas.

2. En la caja de diálogo de los *Contenidos del Archivo de la Matriz* (**FIGURA 39**) en el nombre escriba *Condiciones Típicas* y presione el botón para *renombrar*, entonces aparece una caja de diálogo donde es posible escribir el nuevo nombre para la matriz, que en este caso será *Typical TT*.

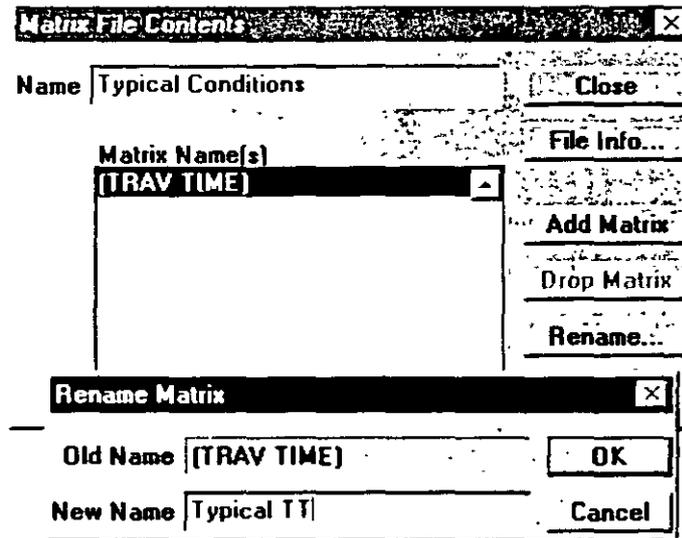


FIGURA 39 VENTANA DE CONTENIDOS DEL ARCHIVO DE LA MATRIZ

3. Seleccione *Cerrar* para aceptar el nuevo nombre de la matriz.

Ahora se calcularán los tiempos de viaje que resultan cuando se presenta una manifestación en una ruta.

(j) Calles Cerradas en una Red

1. Seleccione *Networks Paths-Settings* para desplegar la caja de diálogo de características de la red
2. Presione el botón de *Update* para desplegar el cuadro de diálogo de *actualización de la red*. (**FIGURA 40**).
3. En el cuadro de opción seleccione *Calles no disponibles y en uso* seleccione por expresión, la expresión que se introducirá a continuación es `PARADE_RTE=1` y presione *OK*.

TransCAD "bloquea" la ruta de la manifestación en la red. Ahora se calcularán los tiempos de viaje durante la manifestación.

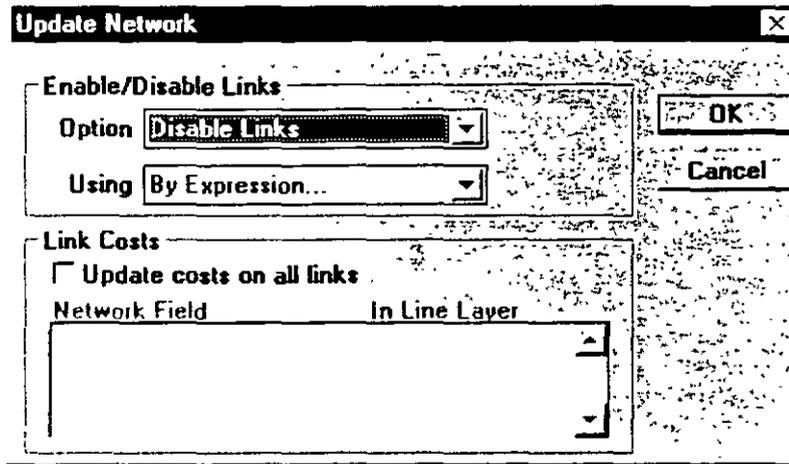


FIGURA 40 PANTALLA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED DE TRABAJO

(k) Cálculo del tiempo de viaje entre las zonas durante la manifestación

1. Seleccione *Network Paths-Multiple Paths* para desplegar nuevamente la caja de diálogo de rutas multiples
2. Elija minimizar [TRAV TIME] de centroide a centroide y presione OK. Entonces, aparece la matriz de tiempos mínimos de viaje en caso de una manifestación como se muestra en la FIGURA 41. Nuevamente es necesario guardar el archivo de trabajo actual.

Shortest Path ([TRAV TIME])							
	38992	41521	44202	55470	64693	68365	70994
10622	21.18	25.92	29.01	26.63	41.49	36.95	47.66
11672	11.69	15.90	19.75	16.60	32.23	26.93	37.63
25561	12.41	11.72	17.70	9.25	29.99	19.56	32.21
29304	25.19	24.49	27.99	19.54	40.34	22.73	34.80
31350	26.90	30.46	20.80	28.18	21.17	33.65	31.67
38992	0.00	11.39	13.28	12.54	25.76	22.86	33.70
41521	11.11	0.00	13.27	8.46	25.44	16.93	27.78
44202	16.72	12.65	0.00	10.37	17.74	15.84	24.26
55470	12.54	8.31	10.52	0.00	22.87	12.40	25.03
64693	28.27	25.28	17.74	22.73	0.00	27.91	20.40
68365	22.70	16.73	15.99	12.40	27.91	0.00	18.99
70994	35.34	27.43	24.26	24.88	20.40	18.99	0.00

FIGURA 41 MÍNIMOS TIEMPOS DE VIAJE ENTRE CENTROIDES EN CONDICIONES DE MANIFESTACIÓN

Nuevamente, se renombrará el la matriz desde *Matrix-Contents* o con el botón  en la barra de herramientas. Elija el botón  para *Renombrar Parade Conditions* por *Parade TT*, presione OK y cierre la ventana.

(I) Manejo de Matrices

Ahora es necesario manejar los datos de las matrices para obtener el cambio en personas-horas gastadas en los viajes como resultado de la manifestación.

TransCAD puede manejar cualquier número de matrices juntas.

Para combinar algunas matrices dentro de un archivo de matriz es necesario:

1. Selecciones *Matrix-Combine* o presione el botón  para desplegar la caja de diálogo de Archivo para matrices combinadas (*FIGURA 2.81*).
2. Seleccione las 3 matrices que se encuentran en el cuadro de diálogo y presione OK.

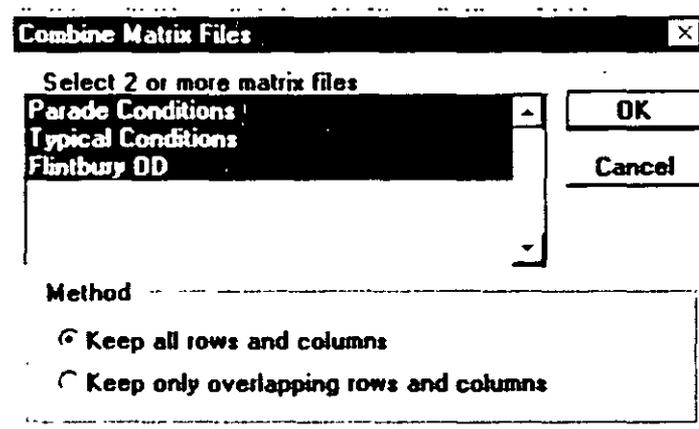


FIGURA 2.81 VENTANA DE ARCHIVO PARA COMBINAR MATRICES

TransCAD crea un nuevo archivo de matriz que contiene las 3 matrices, es posible seleccionar cualquiera de las matrices que se encuentran en la barra de herramientas (*FIGURA 2.82*).

Antes de continuar, se harán algunos cambios a las matrices, para facilitar su entendimiento, siguiendo los pasos que se explican a continuación.

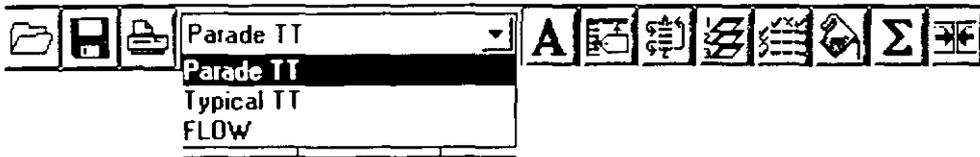


FIGURA 2.82 BARRA DE HERRAMIENTAS DONDE SE LOCALIZAN LAS MATRICES ACTIVAS

(m) Cambio de etiquetas

1. Seleccione *Matrix-Labels* o presione el botón  en la barra de herramientas para que aparezca la caja de diálogos de etiquetas.
2. En la ventana de etiquetas de matrices (**FIGURA 2.83**), en la ventana de datos, seleccione *Nodos de Flintbury* y seleccione *ID* para que los relacione por el identificador de la zona y seleccione *Centroid*, presione *OK*.

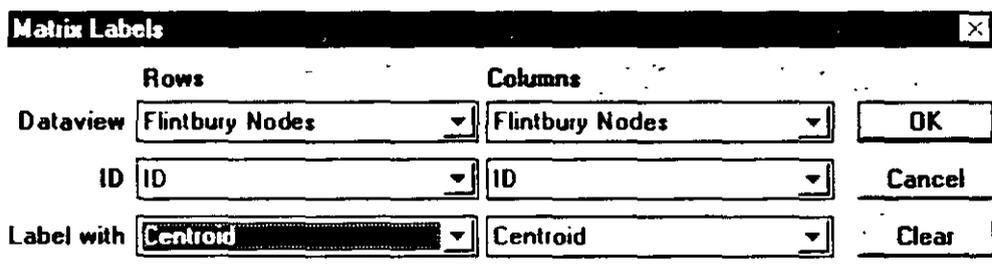


FIGURA 2.83 VENTANA DE ETIQUETAS DE MATRICES

TransCAD muestra la matriz etiquetando los renglones y columnas con los valores encontrados en el campo de centroides, el cual es, en este caso, el ID de la zona.

(n) Clase de una Matriz

1. Seleccione *Matrix-sort* o presione el botón  en la barra de herramientas para que se muestre la ventana correspondiente a *Clase de Matriz*. (**FIGURA 2.84**)
2. Elija *Etiquetas* y acepte la opción elegida. Al elegir esta opción, se desplegarán los renglones y columnas en orden por ID zonal.

Ahora se adicionaran todos los datos anua nueva matriz.

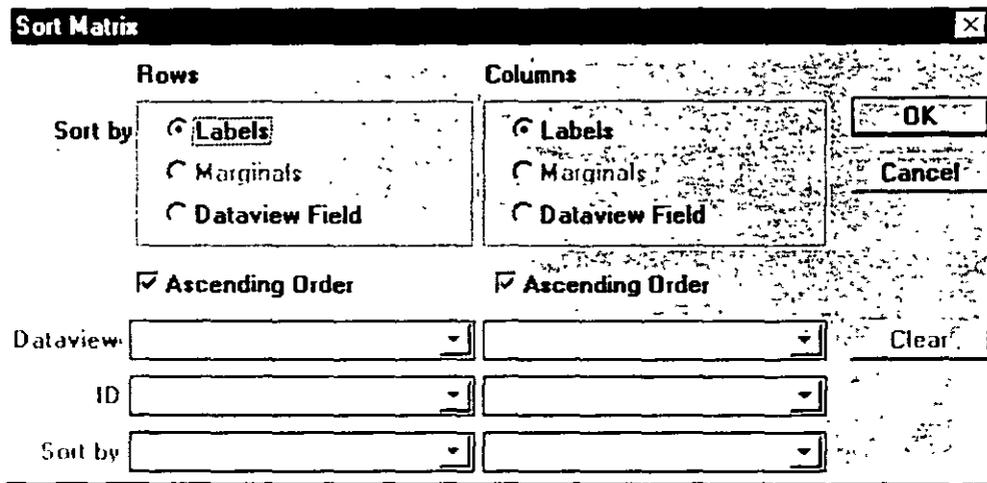


FIGURA 2.84 VENTANA DE CLASE DE MATRIZ

(ñ) Adicionar una Matriz

1. Seleccione *Matrix-Contents* o presione el botón  que aparezca la ventana de contenido de la matriz (FIGURA 2.85)
2. Presione el boton para adicionar matriz. TransCAD adicionará una matriz llamada Matrix 4 a la lista de nombres de matrices.
3. Seleccione la Matriz 4
4. Elija el boton para renombrar la matriz y dele el nombre de Resultados, presione OK y finalmente, cierre la ventana.

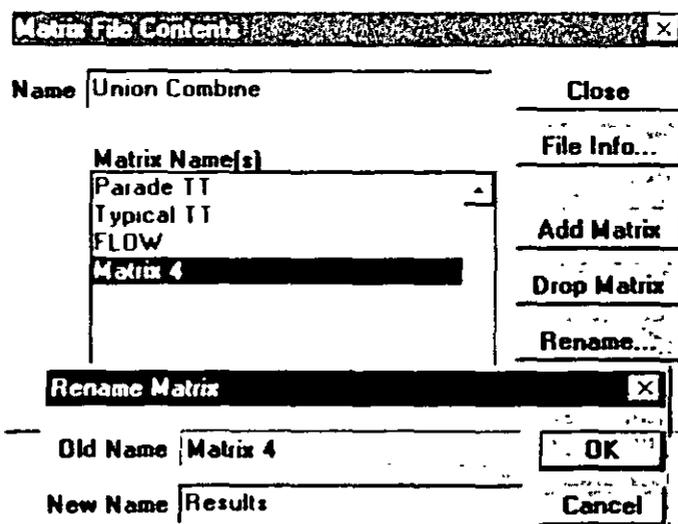


FIGURA 2.85 CONTENIDO DEL ARCHIVO DE MATRICES

TransCAD aumenta otra matriz llamada Resultados al archivo de matrices. Ahora se llenará con los resultados.

(o) Cálculo de los Viajes extra para cada zona

1. Seleccione Resultados de la barra de herramientas, para que la matriz de resultados sea visible.
2. Elija Matrix-Fill o presione el botón  en la barra de herramientas.
3. Entonces aparece la pantalla de fórmula (**FIGURA 2.86**), donde es necesario que introduzca la fórmula de, $[FLOW] * ([Parade TT] - [Typical TT]) / 60$. Es posible ayudarse con la sección que se encuentra debajo de la caja de diálogo donde se presenta la ayuda para construir fórmulas.

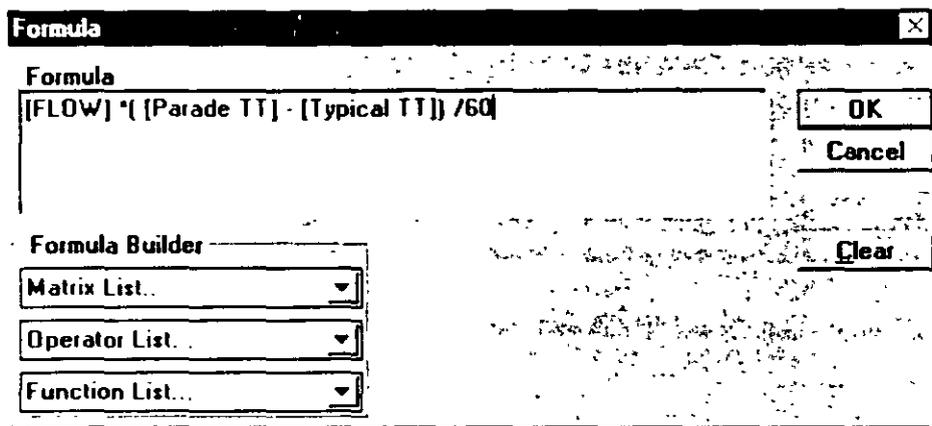


FIGURA 2.86 PANTALLA DE FÓRMULA

TransCAD calcula la fórmula para cada celda y escribe los resultados en la matriz de Resultados. Con este procedimiento ya se llenó los personas-horas extra de viaje que se presentan cuando existe una manifestación entre cada para de zonas. Aunque realmente, lo interesante es obtener el número de viajes extra total en la ciudad de Flintbury, que es, la suma de todas las celdas en el análisis de la manifestación en la matriz de resultados.

(p) Cálculo del total de viajes extra persona-horas en Flintbury

1. Seleccione *Matrix-Settings* or presione el botón  en la barra de herramientas para desplegar las opciones de las matrices (**FIGURA 2.87**), una vez que se muestra la ventana, seleccione Sum y presione OK

TransCAD calcula la suma de cada renglón y columna y las despliega en una matriz (FIGURA 2.88). La diferencia total de personas-horas de viaje causadas por la manifestación se muestran en la última columna de la matriz.

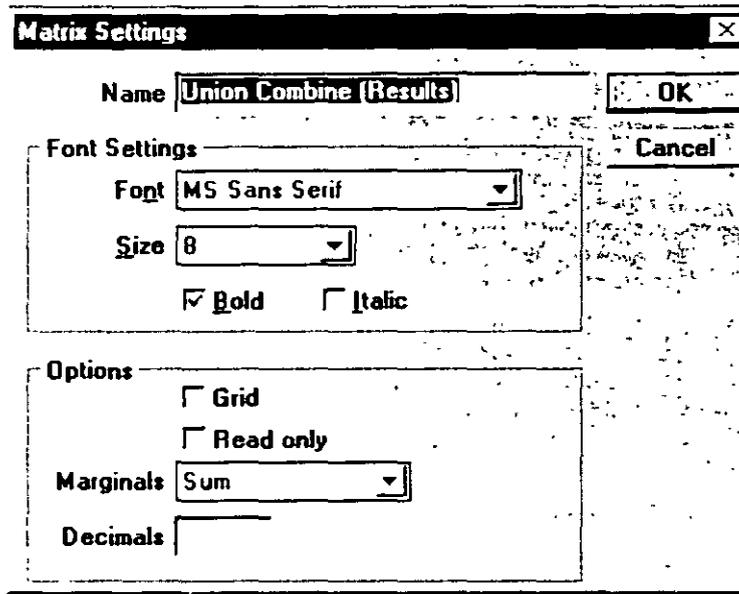


FIGURA 2.87 VENTANA DE CARACTERÍSTICAS DE LAS MATRICES (PARA CONFIGURAR LA MATRIZ DE RESULTADOS)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sum
1	0	0	0	0	0	14	1	0	0	0	28
2	0	0	0	1	0	12	112	0	0	10	135
3	0	0	0	1	0	0	3	0	0	1	4
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	2	0	1	969	2	1	23	1018
6	8	57	0	4	12	0	99	35	0	1	217
7	0	4	0	0	812	93	0	0	1	0	999
8	0	0	0	0	0	76	4	0	0	0	81
9	0	0	0	0	5	3	5	0	0	0	13
Sum	8	62	0	8	861	278	1358	37	2	34	2772

FIGURA 2.88 MATRIZ DE RESULTADOS (EN TOTAL EXISTEN 2772 PERONAS-HORAS EXTRA DE VIAJE DEBIDAS A LA PRESENCIA DE UNA MANIFESTACIÓN)



**CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO**

TEMA: PROGRAMA PARA LA TOMA DE DECISIONES

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004



DIVISION DE
EDUCACIÓN
CONTINUA



PROGRAMA PARA LA TOMA DE
DECISIONES

ROADSIDE

M.I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros



ROADSIDE

ANTECEDENTES

Antes de iniciar con la explicación del uso del programa "ROADSIDE", se expondrán algunos elementos importantes para el mejor entendimiento del uso del sistema.

Evaluación de la factibilidad de un proyecto carretero

Siendo considerado el proyecto de una nueva carretera o autopista como un proyecto de inversión, deberá ser sometido a las evaluaciones de factibilidad correspondientes: técnica, económica y financiera, conforme al nivel de desarrollo del proyecto (idea, gran visión, prefactibilidad y factibilidad).

(a) EVALUACIÓN TÉCNICA

Este tipo de evaluación está más relacionada con la ingeniería civil del proyecto y, en general, casi siempre será técnicamente factible un proyecto. Las dificultades de solución de los problemas técnicos traerán aparejados mayores costos de inversión y posiblemente de operación.

(b) EVALUACIÓN ECONÓMICA

En esta evaluación los beneficios del proyecto generalmente serán estimados en función de los ahorros que experimentarán los posible usuarios del proyecto debido a la disminución en los costos de operación de los vehículos, lo cual es posible lograr mediante la disminución de las distancias por viajar, o por una velocidad promedio de tránsito superior, lo cual repercute en menores consumos de gasolina y en menores costos de operación.

La cuantificación de los beneficios anteriores suele incluir alguna idea sobre los beneficios por reducción en los tiempos de recorrido de los usuarios.

Variaciones de este tipo de evaluación ocurren bajo la consideración de los costos de inversión y de los beneficios a precios de cuenta en lugar de a precios de mercado.

(c) EVALUACIÓN FINANCIERA

Esta evaluación somete al proyecto a un mayor número de pruebas respecto a la conveniencia de un proyecto desde el punto de vista de un inversionista privado. Así, esta evaluación puede ser

realizada desde el punto de vista del proyecto por sí mismo, o bien, desde el punto de vista de los inversionistas.

Los costos están dados por los costos de inversión, de operación y de mantenimiento cuantificados a precios de mercado, incluyendo los gastos financieros y de impuestos. Los ingresos del proyecto se derivarán de los pagos de cuotas por los usuarios de los diferentes tramos de la autopista proyectada

(d) IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE

La realización del proyecto carretero a lo largo de su trazo traerá diferentes impactos sobre el medio ambiente, por lo que éstos habrán de ser tomados en consideración, así como las medidas para mitigar sus efectos. Las medidas de mitigación se traducirán en mayores costos de inversión y de operación para el proyecto.

El Estudio de Mercado

Al ser conceptualizado un proyecto carretero como un proyecto de inversión, surgirá en forma natural la conveniencia de realizar para el mismo, un estudio de mercado que incluirá, entre otras, las secciones típicas de oferta, demanda balance y dimensionamiento del proyecto.

(a) RAZÓN DE SER DEL PROYECTO

Es conveniente establecer claramente la necesidad real o conveniencia del proyecto en cuestión. Este puede derivarse de las necesidades de una mayor y mejor oferta de comunicación entre las zonas que cubrirá el proyecto. En otras ocasiones solamente se deriva de factores políticos.

(b) OBJETIVOS DEL PROYECTO

Ligado al punto anterior, también será conveniente establecer claramente el(los) objetivo(s) del proyecto a fin de establecer a qué segmento(s) de mercado de usuarios será orientado principalmente el proyecto.

(c) DEMANDA

Por otra parte, es necesario estimar el tamaño del mercado objetivo para el segmento propuesto, es decir, cuál será el número de usuarios potenciales y qué porcentaje de éste se pretenderá captar para el proyecto.

Esta fase del proyecto estará ligada a la obtención o determinación de aforos o conteos vehiculares, por tipo de vehículo, recientes sobre las carreteras de la red de la cual se pretenderá captar usuarios para el proyecto.

Lo anterior incluye la determinación de la evolución de la demanda en el pasado reciente, a fin de establecer las tendencias de crecimiento de la misma.

(d) OFERTA ACTUAL Y FUTURA

La oferta actual está dada por aquellos tramos carreteros existentes o futuros que competirán con el proyecto una vez que éste sea realizado. Son de particular consideración aquellos tramos libres del pago de cuotas.

Parte de la revisión incluirá el establecimiento de las condiciones de la oferta actual, es decir, las condiciones de la topografía y las condiciones del mantenimiento de la superficie de rodamiento sobre la cual se desarrolla actualmente, o a futuro, el tránsito objetivo del proyecto. Algunos indicadores de las características de la oferta actual son, a manera de ejemplo:

- Topografía del terreno: plano, ondulado, montañoso
- Velocidad promedio y tiempo de recorrido, por tipo de vehículo, en tramos seleccionados
- Nivel de servicio
- Cuotas de peaje por tramo
- Seguridad y confort de manejo

(e) DIMENSIONAMIENTO DEL PROYECTO

Las características actuales y estimadas a futuro de la oferta y de la demanda, así como los objetivos del proyecto, permitirán establecer metas de captación del mercado para el proyecto con las cuales será posible dimensionar el proyecto en su etapa inicial y a futuro: longitud, trazo, sección, pendiente gobernadora, número de carriles.

INTRODUCCIÓN

El programa "ROADSIDE" es una herramienta de cómputo para la ingeniería de diseño y toma de decisiones en proyectos carreteros. Ayuda al diseñador a seleccionar la alternativa que ofrece mayores beneficios en seguridad a los usuarios, por eso, el principal objetivo del programa es obtener los costos por accidentes, tanto en daños por reparación de la infraestructura dañada en el

accidente. como del costo del mismo accidente y con estos datos, considerar por año lo que es necesario pagar para cubrir el costo del proyecto en su vida útil, desde su instalación, mantenimiento, costo de salvamento del proyecto y finalmente considerar los posibles gastos por accidentes y reparación del accidente. "ROADSIDE" es una versión para microcomputadora que emplea el procedimiento de "Costo Efectivo " de la Guía de Diseño de Carreteras de 1988 publicado por la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO).

USANDO "ROADSIDE"

El programa se accesa directamente con la palabra ROADSIDE. Entonces el programa lee los archivos de datos y despliega una pantalla inicial donde se muestran los valores básicos y globales de entrada. Estos datos es posible modificarlos, aunque el programa proporciona valores por default que pueden ser empleados por el usuario. En la **FIGURA 1** se muestra la pantalla inicial al acceder al programa.

```

1. FATALITY COST      = $ 500,000
2. SEVERE INJURY COST = $ 110,000
3. MODERATE INJURY COST = $ 10,000
4. SLIGHT INJURY COST = $ 3,000
5. PDO LEVEL 2 COST   = $ 2,500
6. PDO LEVEL 1 COST   = $ 500
7. ENCROACHMENT MODEL = ENCRATE * (ADTeff ^ ENC.POWER)
ENCROACHMENTS/MILE/YR
   = 0.0005000 * (ADTeff ^ 1.000000 ) ENCROACHMENTS/MILE/YR
8. ENCROACHMENT ANGLE AT 40 MPH = 17.2 DEGREES
9. ENCROACHMENT ANGLE AT 50 MPH = 15.2 DEGREES
10. ENCROACHMENT ANGLE AT 60 MPH = 13.0 DEGREES
11. ENCROACHMENT ANGLE AT 70 MPH = 11.6 DEGREES
12. LIMITING TRAFFIC VOLUME PER LANE = 10,000 VEHICLES PER DAY
13. SWATH WIDTH = 12 FT.

14. RESET ALL GLOBALS TO DEFAULT STARTUP VALUES.

DO YOU WISH TO CHANGE A PARAMETER VALUE (Y/N)?

```

FIGURA 1 PANTALLA INICIAL DEL PROGRAMA ROADSIDE

Si no se cuentan con datos acerca de la zona de estudio es posible emplear los que marca el programa por default, entonces en la siguiente pantalla (**FIGURA 2**) que se despliega se muestra la relación del índice de severidad versus costo para información del usuario, ya que con estas relaciones trabajará el programa para obtener los costos finales de proyecto.

SEVERITY INDEX versus COST RELATIONSHIP		
SEVERITY INDEX		COST
0.0	\$	0
0.5	\$	500
1.0	\$	1,375
2.0	\$	3,135
3.0	\$	10,295
4.0	\$	25,350
5.0	\$	56,535
6.0	\$	116,555
7.0	\$	186,150
8.0	\$	281,720
9.0	\$	395,500
10.0	\$	500,000

PRESS ENTER TO CONTINUE

FIGURA 2 EN LA PANTALLA SE MUESTRAN LOS VALORES DE LA RELACIÓN ÍNDICE DE SEVERIDAD VERSUS COSTO, CON LAS CUALES SE OBTENDRÁN LOS COSTOS FINALES DE PROYECTO

A continuación se muestra la pantalla de trabajo. Todos los datos del proyecto se alimentan en esta pantalla. Para introducir los datos es necesario seleccionar el número correspondiente a la opción a la que se desea acceder, posteriormente aparece una nueva pantalla mostrando los valores que se tienen por default y se pide que se introduzca el nuevo valor del proyecto que se está analizando. Las opciones disponibles para el usuario son:

1. Título
2. Volumen de Tránsito, Tasa de Crecimiento del Tránsito
3. Vialidad Dividida (o no dividida), Número de carriles, Ancho de carril
4. Curvatura, Pendiente
6. Velocidad de Diseño
7. Longitud de la vialidad
8. Frecuencia inicial de colisiones
9. Índices de Severidad
10. Vida útil del proyecto, Tasa de descuento

11. Costo de Instalación del Proyecto
12. Costos por reparación de acotamientos, superficie de rodamiento
13. Costo de Mantenimiento
14. Valor de Salvamento

En la **FIGURA 3** se muestra la pantalla de trabajo.

```

1. TITLE  STARTUP VALUES
2. TRAFFIC VOLUME = 0 VPD - TRAFFIC GROWTH = 0.0 % PER YEAR
3. DIVIDED ROADWAY 1 ADJACENT LANE(S) OF WIDTH = 12.0 FT.
4. CURVATURE = 0.0 DEGREES GRADE (PERCENTAGE) = 0.0
5. TRAFFIC BASELINE CURVATURE GRADE USER TOTAL
   VOLUME ENC FACTOR FACTOR FACTOR ENC.
   ADJACENT 0 0.0000 1.00 1.00 1.00 0.0000
   OPPOSING 0 0.0000 1.00 1.00 1.00 0.0000
6. DESIGN SPEED = 70 MPH ENCROACHMENT ANGLE = 11.6 DEGREES
7. LATERAL (A) = 8 LONGITUDINAL (L) = 200 WIDTH (W) = 1 FT.
8. INITIAL COLLISION FREQUENCY = 0.00000 IMPACTS PER YEAR
   ADJACENT CFT = 0.0000 CF1 = 0.0000 CF2 = 0.0000 CF3 = 0.0000
   OPPOSING CFT = 0.0000 CF4 = 0.0000 CF5 = 0.0000 CF6 = 0.0000
9. SEVERITY INDEX = SU = 0.00 SD = 0.00 CU = 0.00 CD = 0.00 FACE = 0.00
   ACCIDENT COST $ 0 $ 0 $ 0 $ 0 $ 0
   KT = 0.962 KJ = 0.962 CRF = 1.040 KC = 0.962
10. PROJECT LIFE = 1 YEARS DISCOUNT RATE = 4.0 %
11. INSTALLATION COST = $ 0
12. REPAIR COST/ACC $ SU = 0 SD = 0 CU = 0 CD = 0 F = 0
13. MAINTENANCE COST/YR = $ 0
14. SALVAGE VALUE = $ 0
15. PRESENT WORTH = $ 0 ANNUALIZED $ 0
   HIGHWAY DEPT. COST = $ 0 ANNUALIZED $ 0
INPUT ITEM TO CHANGE (1 TO 14) OR FUNCTION KEY PLUS ENTER
1 PRINT 2 STORE 3 RECALL 4 HELP 5 GLOBAL 6 SV 5 7 DIR 8 ST DEF 9 GRAPH 10 QUIT

```

FIGURA 3 PANTALLA DE TRABAJO

Cada vez que alguno de los valores numéricos se cambia, el problema se recalcula y se obtienen nuevos resultados.

Los valores y unidades que tienen las opciones que se presentan en la **FIGURA 3** se detallan en la **TABLA 1**

TABLA 1 VARIABLES DE LOS DATOS DE ENTRADA

DATO DE ENTRADA	UNIDAD
Volumen de Tránsito	TDPA por los dos sentidos no dividido (u) dividido (d) un sentido (o)
Tipo de Camino	
Número de carriles	
Ancho de cada carril	pies
Grado de curvatura del camino (promedio)	grados
Pendiente del camino (promedio)	porcentaje
Factor de ajuste por tipo de usuario	
Velocidad de diseño	millas por hora
Longitud de estudio	pies
Ancho de acotamiento	pies
Ancho de protección (en caso de que sea camino dividido)	pies
Índice de Severidad:	
Aguas arriba de la zona de estudio	
Aguas abajo de la zona de estudio	
Aguas arriba de las orillas de la zona de estudio	
Aguas debajo de las orillas de la zona de estudio	
A lo largo de la zona de estudio	
Vida Útil del Proyecto	años
Tasa de descuento	porcentaje
Costo de instalación	dólares
Costo de reparación (por accidente)	dólares
Costo de mantenimiento (por año)	dólares
Valor de Salvamento del proyecto	dólares

A continuación se presentan los elementos de diseño del proyecto:

1. *Volumen de Tránsito*

El primer paso en el programa es dar el tránsito que se presenta en los dos sentidos de la vía y una tasa estimada anual de crecimiento del tránsito. La tasa de crecimiento del tránsito se da como porcentaje (0 a 10%). Si no se cuenta con alguna guía o con el dato preciso, se sugiere usar una tasa de crecimiento del 2%.

2. *Tipo de Camino*

El siguiente paso es dar el tipo de camino que se está analizando. Existen 3 opciones: dividido, no dividido, un sentido. También se debe proporcionar el número de carriles y ancho de cada carril debe también darse.

3. Factor por el Grado de Curvatura del Camino

Para las curvas que se presentan del lado derecho del tránsito se consideran positivas y pueden observarse como un factor de 2 (máximo) para curvas de 6 grados. Para curvas del lado izquierdo del tránsito se consideran negativas y su factor es de 4 (máximo) para curvas de 6 grados.

4. Factor por Pendiente

Para pendientes negativas en la dirección del tránsito se incrementa la tasa por un factor de 2 a 6%. Para pendientes negativas de 2% o menos no se afecta la tasa básica dada por el programa.

5. Velocidad de Diseño

La velocidad de diseño del camino se usa para seleccionar la extensión lateral necesaria para una curva. Las velocidades para las curvas utilizadas por el programa son 40, 50, 60 y 70 mph. Para cualquier velocidad de entrada menor a 40 mph, el programa usa 40 mph para el diseño; para la curva diseñada para 50 mph se usan velocidades entre los 40 y 50; la de 60 mph se usa para velocidades entre los 50 y 60 y la de 70 mph para velocidades alrededor de las 60 mph.

5. Frecuencia de Colisión

Usando los datos anteriormente proporcionados, el programa calcula la frecuencia de colisión. El número esperado de colisiones en el área de estudio cada año es una sumatoria de las colisiones presentadas sobre el área de estudio, los lados, entrada y salida de la sección.

6. Índice de Severidad

Para convertir los datos de accidentes a costos, se asigna un índice de severidad (S.I.) a los impactos que se presentan en la zona de estudio. Se usan cuatro valores: impactos dentro de los límites de la zona de estudio, aguas arriba y aguas abajo (para los dos sentidos de tránsito), orillas de la zona de estudio y la superficie total de dicha área.

7. Vida útil del proyecto y Tasa de Descuento

La vida útil de un proyecto carretero está en función de la vida usada en el diseño y es un valor de entrada seleccionado por el usuario (para proyectos carreteros se puede considerar una vida útil de 20 años en promedio). Con todos estos valores el programa calcula los factores económicos necesarios para completar el análisis. Si no se cuenta con el dato de tasa de descuento, se puede usar un 4%.

8. Costos del Camino

Los costos de instalación, reparación, mantenimiento y salvamento son los datos finales de entrada al programa. Para cada uno de estos elementos se dan el costo presente total y el costo anualizado, los cuales son calculados por el programa. Esta es la salida del programa, la cual facilita el diseño ingenieril para hacer comparaciones directas entre las diversas alternativas de proyectos, basados en la seguridad para el usuario.

TECLAS DE FUNCIONES

Como se puede observar en la **FIGURA 4**, en la parte inferior de la pantalla se muestra una serie de opciones que se encuentran asociadas con las teclas de funciones. La acción que realiza cada una de ellas se muestra en la **TABLA 2**.

TABLA 2 TECLAS DE FUNCIONES

Tecla de Función	Acción
F1	Generar una impresión de las variables del problema y los resultados en términos de valor presente y costos anualizados.
F2	Salvar archivo de trabajo Almacenar las variables y datos básicos de entrada del problema que se esté analizando
F3	Recuperar un archivo previamente almacenado
F4	Accesar al menú de ayuda del programa, el cual contiene información detallada de cada aspecto de ROADSIDE
F5	Opción que permite cambiar los valores básicos de entrada (globales)
F6	Muestra la relación entre el índice de severidad y costo obtenido de los costos de accidentes incluidos en los datos básicos de entrada
F7	Despliega el directorio de los archivos contenidos
F8	Lista el porcentaje de cada tipo de accidente e incluye para cada uno el valor el índice de severidad
F9	Despliega una gráfica de la carretera, de los datos proporcionados en el punto 7 de la pantalla de trabajo (FIGURA 4)
F10	Salir del programa

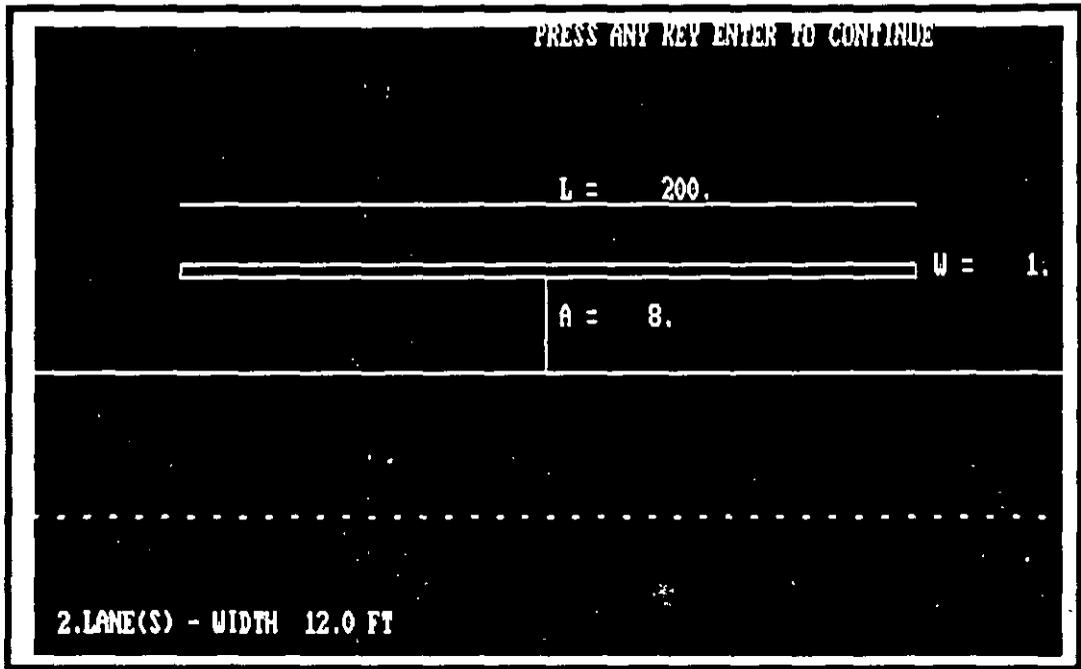


FIGURA 4



CURSO
CA97 INGENIERIA DE TRANSITO URBANO

TEMA: MODELO DE ESTIMACION DE MODOS DE VIAJE

COORDINADOR: ING. ARTURO REYNA GALINDO

EXPOSITOR: ING. DIANA GALINDO

M. EN I. MIRIAM TÉLLEZ B.

ING. DAVID PADILLA G.

M. EN I. ENRIQUE A. HERNÁNDEZ R.

PALACIO DE MINERÍA: JUNIO 2004



DIVISION DE
EDUCACIÓN
CONTINUA



MODELO DE ESTIMACIÓN DE MODOS DE VIAJE

MODE CHOICE

M.I. Miriam Evelia Téllez Ballesteros



WORK TRIP MODE CHOICE ESTIMATION MODEL (MODE CHOICE)

ANTECEDENTES

Conceptos

La distribución o selección es el paso final del proceso de proyección de la demanda por transporte. Su objetivo es estimar los flujos de cargas o pasajeros entre las parejas de zonas de tráfico, para cada modo de transporte analizado. Después de conocerse la demanda, representada en las matrices de flujos por modo de transporte, se inicia la integración con la oferta, a través del cargamento de la red multimodal de transporte

Para elaborar las estimaciones, los modelos de distribución (o de selección) modal utilizan información sobre la distribución y características de la demanda y oferta de transportes. Todo funciona como si las matrices de distribución de demanda, para cada tipo de flujo (por ejemplo: motivo de viaje, tipo de producto o clase socioeconómica), fueron "dividas" en otras matrices, una para cada modo disponible para el tipo de flujo considerado. Para cada celda de la matriz, el flujo entre la pareja de zonas correspondientes es atribuido a los distintos modos en función de sus atributos con respecto a este desplazamiento específico.

La etapa de distribución modal tiene un papel central en el proceso de simulación de demanda, ya sea que la mayor parte de las variables de políticas de transporte estén incluidas en estos modelos. Historicamente, fue la etapa que presentó la mayor evolución desde el punto de vista teórico y de aplicación práctica. El propio nombre, distribución modal, refleja un enfoque adoptado hasta la década de los 70's, cuando el análisis era hecho de manera agregada, estimándose la distribución de los flujos totales entre parejas de zonas entre los modos. Más recientemente, se empezaron a estudiar los mecanismos que condicionan la selección del modo de transporte a nivel individual, lo que trajo el desarrollo de los modelos de selección modal (*SEDESOL, 1994*).

Flujos Cautivos

Un flujo es llamado cautivo de un determinado modo de transporte cuando su realización se hace exclusivamente (o casi) a través de este modo. Distintos motivos pueden hacer un determinado tipo de flujo considerarse cautivo de un modo de transporte. En el caso urbano, el ejemplo clásico es el de personas de escasos recursos, sin acceso al automóvil, cautivas, por lo tanto, del transporte público (éstas podrán, eventualmente, tener la posibilidad de optar entre modos distintos de

transporte público, en caso de que estén disponibles, dejando, entonces, de considerarse cautivas de un modo). Por otro lado, hay también los que tienen un ingreso tan alto que nunca van a utilizar transporte público, siendo cautivos del automóvil.

En el caso de los flujos cautivos, el análisis de la selección modal es suprimida.

A continuación se analizan diversos temas relacionados al enfoque adoptado para los productos llamados competitivos, es decir, aquellos en donde existen por lo menos dos alternativas de modos de transporte en las cuales es posible hacer el desplazamiento.

Factores que ejercen influencia en la Selección Modal

La selección del modo de transporte depende de tres conjuntos de características:

- Atributos del desplazamiento
- Atributos del usuario
- Atributos del sistema de transporte

Los atributos más importantes pueden variar, dependiendo si los flujos analizados son de mercancías o de pasajeros. Los atributos de desplazamiento se refieren a las características como las ejemplificadas a continuación:

- Motivo del viaje (ejemplo: trabajo, escuela, compras, diversión)
- Periodo cuando el viaje es hecho
- Destino en la región central
- Frecuencia de los viajes
- Distancia del viaje

Con respecto a los atributos de los usuarios, algunos de los más importantes son los descritos a continuación:

- Tipo de automóviles
- Ingreso familiar o individual
- Nivel cultural
- Estructura familiar

Por último, en cuanto a las características de la oferta de transporte disponible, éstas pueden ser clasificadas en cuantitativas y cualitativas. Entre las cualitativas es posible todavía diferenciar atributos con distintos grados de dificultad de medición. Para ilustrar, se pueden señalar las siguientes variables:

- Costo del viaje (tarifa del transporte público o de estacionamiento, costo de operación del automóvil)
- Tiempo de viaje en el vehículo
- Tiempo de espera (por transporte público o plaza en el estacionamiento, caminando, haciendo correspondencia)
- Comodidad y conveniencia
- Seguridad (personal y accidentes)
- Regularidad y confiabilidad
- Accesibilidad

La inclusión de estos factores en la elaboración de los modelos de selección modal está restringida por el tipo, cantidad y calidad de la información disponible para la calibración. Quizá el elemento más restrictivo sea la necesidad de elaborar proyecciones coherentes de las variables, tarea esencial cuando los modelos son utilizados para estimar la demanda futura por transportes. Este hecho reduce significativamente el conjunto de las variables que pueden considerarse en la especificación de los modelos.

La selección de los factores que deben incluirse y excluirse de la formulación exige sensibilidad por parte del responsable por el modelaje así como la comprensión de la importancia del fenómeno estudiado

Existen varios modelos para realizar la selección modal, entre ellos se encuentran:

- a) Modelos de Selección Discreta
- b) Teoría de la Utilidad Aleatoria
- c) Modelo Logit Multinomial
- d) Modelo Logit Jerárquico

En el presente trabajo, sólo se explicarán los modelos logit, ya que el modelo empleado por el sistema "MODE CHOICE" es de la forma logit.

Modelo Logit Multinomial

El modelo más conocido y utilizado de selección modal es llamado logit multinomial. Es el producto del cambio de la siguiente expresión de probabilidad:

$$p_m^q = \text{prob}\left\{\epsilon_i^q \leq \epsilon_m^q + (V_m^q - V_i^q)\right\}, \forall k \in A_q$$

A partir de la hipótesis de que las variables aleatorias ϵ_m^q son independientes e idénticamente distribuidas según la distribución Weibull. En este caso, la expresión analítica para las probabilidades de selección está definida por:

$$p_m^q = \frac{\exp(RL.V_m^q)}{\sum_{k \in A_q} [\exp(RL.V_k^q)]}$$

donde:

p_m^q : Probabilidad de un individuo (de la categoría /tipo de flujo) q selecciona el modo de transporte m.

RL : Parámetro de dispersión.

V_m^q : Parte que se puede medir (o sistémica) de la utilidad para el individuo q (o que pertenezca a la categoría Q), función de sus características y atributos que pueden observarse en la alternativa m.

ϵ_m^q : parte aleatoria de la utilidad que refleja la idiosincracia o los gustos particulares de cada individuo q, además de los errores de medición y observación de los atributos de la alternativa m.

El parámetro RL debe estimarse juntamente con los demás parámetros de la función utilidad.

Modelo Logit Jerárquico

Una de las hipótesis que conduce a la formulación del modelo logit multinomial es la de que las variables aleatorias ϵ_m^q , asociadas a cada alternativa, son independientes entre sí. Cuando un subconjunto de alternativas presenta mayor similitud (por ejemplo, modos de transporte público frente al automóvil) esta hipótesis pierde su validez. En estos casos algunas de las propiedades del logit multinomial empiezan a considerarse como problemas.

Para manejar situaciones como ésta, hay una formulación más genérica llamada modelo logit jerárquico o anidado. Su estructura se caracteriza por agrupar los subconjuntos de alternativas correlacionadas (o más semejantes) en un nivel jerárquico o nido. Por ejemplo, modos de transporte público como el ómnibus y el metro pueden constituir un nido.

Cada nido, en su caso, está representado por un "modo compuesto", o supermodo, que compite con los demás modos en un mismo nivel jerárquico. Retomando el ejemplo anterior, el supermodo "transporte público" (compuesto por ómnibus y metro) compite con el automóvil. La **FIGURA 1**, enseña la estructura de decisión, semejante a un árbol invertido, adoptada para representar el ejemplo anterior. La **FIGURA 2** presenta un ejemplo de estructura de decisión con más modos, más nidos y más niveles jerárquicos.

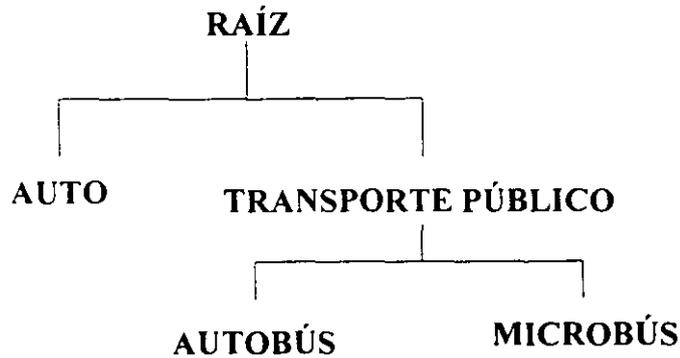


FIGURA 1 EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE DECISIÓN PARA SELECCIÓN MODAL UTILIZÁNDOSE MODELO LOGIT JERÁRQUICO. ÁRBOL CON DOS NIVELES JERÁRQUICOS

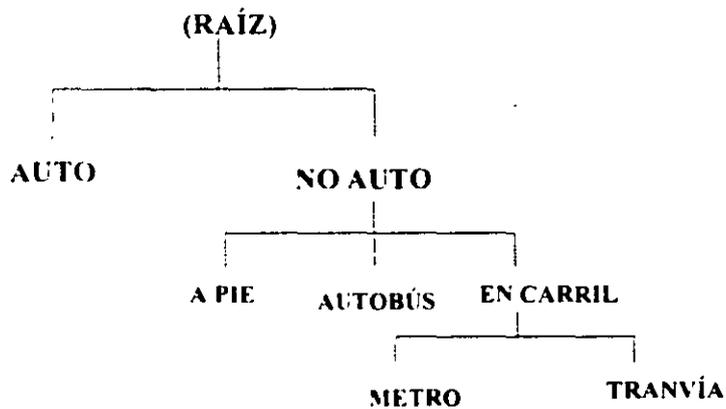


FIGURA 2 EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE DECISIÓN PARA SELECCIÓN MODAL UTILIZÁNDOSE MODELO LOGIT JERÁRQUICO. ÁRBOL CON TRES NIVELES JERÁRQUICOS

En la competencia con los demás modos, cada modo compuesto está representado por una utilidad dada por la siguiente expresión (para simplificar, se omite el índice q).

$$V_i = \frac{1}{RL_i} \cdot \ln \left(\sum_{k \in A_i} \exp(RL_i \cdot V_k) \right)$$

donde:

Vs: Utilidad del modo compuesto relativo al nido s
 RLs: Parámetro de dispersión asociado al nido s

V_k : utilidad del modo k

A_s : Conjunto de modos (sencillos o compuestos) que componen el nido s

Es importante observar que esta expresión, cuando se evalúa en el nivel jerárquico más alto ("raíz" del árbol de decisión), corresponde a la utilidad compuesta que representa todas las alternativas disponibles (para la categoría/tipo de flujo q). En el caso de la selección modal, este valor puede interpretarse como la utilidad representativa de todos los modos.

Por lo cual, este valor es utilizado en la función de impedancia de la distribución de la demanda para representar el costo generalizado compuesto del desplazamiento entre determinada pareja de zonas, considerando todos los modos que pueden utilizarse. La expresión correspondiente (para cada categoría/tipo de flujo q) es:

$$g_{ij} = \frac{1}{RL_{i0}} \cdot \ln \left(\sum_{k \in A_i} \exp(RL_{i0} \cdot V_{ijk}) \right)$$

donde:

g_{ij} : Costo generalizado compuesto del desplazamiento de la zona i hacia la zona j

RL_{i0} : Parámetro de dispersión asociado a la raíz del árbol de decisión

V_{ijk} : Utilidad (costo generalizado) del modo k en el desplazamiento de la zona i hacia la zona j

A_0 : Conjunto de modos (sencillos o compuestos) que componen el nido junto a la raíz del árbol de decisión.

Para llegar a la estimación de la proporción de la demanda que utilizará cada modo de transporte, es necesario considerar la probabilidad de seleccionar sucesivamente los nidos que llevan a un modo sencillo (respetando la jerarquía del árbol de decisiones). En el ejemplo anterior, para estimar la proporción de la demanda que utilizará el ómnibus, es necesario estimar la probabilidad de utilizar (el modo compuesto) transporte público y, además, la probabilidad de seleccionar el ómnibus, una vez establecida la opción del uso del transporte público.

La probabilidad de selección de un modo m (simple o compuesto) pertenece a un nido s del árbol de alternativas (para cada categoría/tipo de flujo) para realizar el desplazamiento entre una determinada pareja de zonas de tráfico i y j se determina por:

$$\theta_{ijm} = \frac{\exp(RL_{i0} \cdot V_{ijm})}{\sum_{k \in A_i} \exp(RL_{i0} \cdot V_{ijk})} = \frac{\exp(RL_{i0} \cdot V_{ijm})}{\exp(RL_{i0} \cdot V_{ij0})}$$

donde.

p_{ijm} : Probabilidad de selección de un modo m (simple o compuesto) perteneciente al nido s
 V_{ijks} : Utilidad del modo compuesto correspondiente al nido s en el desplazamiento de la zona i para la zona j

La probabilidad de utilizar un modo simple k se calcula respetándose la jerarquía de modos compuestos superiores en el árbol de alternativas y puede expresarse por:

$$p_{ijk} = \text{prod}_s(\theta_{ij})$$

donde s es el conjunto de modos compuestos jerárquicamente superiores, en el camino del modo k .

En el caso del modelo logit simple (en el que todos los modos colocados en un mismo nido) se verifica la igualdad:

$$P_{ijm} = \theta_{ijm}$$

INTRODUCCIÓN

El "MODE CHOICE" es un modelo de estimación de viajes de trabajo, basado en la técnica para la estimación de los modos de transporte para los viajes de trabajo. El modelo considera tres modos: viajar solo en automóvil, automóvil compartido y transporte público. El modelo estima estas opciones basándose en atributos de los viajes poblacionales (ingreso por familia, contar con auto propio, etc.) y también considera atributos de las elecciones de viaje disponibles (tiempo de viaje, costo, etc.)

El modelo tiene una forma "logit". Los atributos de cada modo son establecidos por el modelo, y la utilidad relativa de cada modo se estima en función de los modos existentes en el mercado. El modelo fue calibrado originalmente basado en datos de varias ciudades.

DATOS REQUERIDOS

El modelo requiere un moderado nivel de datos de viaje de la población y de las opciones de viaje disponibles. Para mejorar la precisión en los resultado obtenido, los datos deberán ser agrupados en subgrupos por modo de transporte. Un subgrupo de viaje se define usualmente geográficamente (trabajadores viviendo en el área, trabajando en el centro, por ejemplo), pero es posible elegir otra forma de división. Un gran número de subgrupos (cada uno relativamente pequeño) incrementará la exactitud del estudio, pero también requiere de un mayor esfuerzo para producir los datos requeridos por el modelo.

Los datos socioeconómicos necesarios para alimentar el modelo se muestran en la **TABLA 1**.

TABLA 1 DATOS SOCIOECONÓMICOS PARA ALIMENTAR EL MODE CHOICE

Subgrupos poblacionales	Número de trabajadores en el subgrupo de viaje en un día de la semana promedio (laboral).
Tamaño Promedio de Familia	Número promedio de personas por familia en el subgrupo. Este dato se puede determinar con el censo de población (se da un valor de 3.2 por default en la hoja de trabajo). En México se considera que el número de personas por familia promedio es de 5.5.
Ingreso por familia	Ingreso promedio anual de las familias en el subgrupo. Este dato se debe proporcionar en dólares. Por default el sistema usa un valor de \$25 000.
Automóviles por familia	El número promedio de pasajeros por auto (no se incluyen camionetas pick-up y motocicletas) propiedad de cada familia. Por default se utiliza un valor de 1.5
Conductores por familia	El número promedio de conductores por familia. Esta variable no está disponible en los reportes censales. Si esta información específica no está disponible, entonces para obtenerlo es posible dividir el número de personas entre 18 y 65 años entre el número de familias.
Principal sostén económico	Este dato es la proporción de los trabajadores en el subgrupo, los cuales son el principal sostén económico de sus familias. Por default se usa un valor de 0.75.

Para cada modo (viajar sólo en el automóvil, automóvil compartido, transporte público), es necesario estimar cierto atributo de nivel de servicio. Para estimar este atributo es necesario obtener ciertos datos mostrados en la **TABLA 2**.

TABLA 2 DATOS NECESARIOS PARA ESTIMAR EL NIVEL DE SERVICIO POR MODO

Distancia	Distancia, en millas, desde la casa al trabajo. Es la misma para todos los modos.
Tiempo dentro del vehículo	Tiempo requerido "dentro del vehículo" (automóvil o autobús) para viajar desde la casa al trabajo. En minutos. Varía por modo.
Tiempo fuera del vehículo	Tiempo que se consume caminando en el estacionamiento o parada de autobús, o esperando a que llegue el autobús o automóvil compartido – "tiempo fuera del vehículo"-. En minutos. Varía por modo.
Costo de Estacionamiento	Costo diario del estacionamiento. Se emplea el mismo valor para viajes en automóvil solo y para viajes en automóvil compartido.
Tarifa del Autobús	Tarifa de autobús para el subgrupo en cuestión. Incluye costos de transferencia, si se presentan.
Viaje a la Zona Centro de la ciudad	Esta es una variable opcional, se elige 1 si el viaje de trabajo del subgrupo de desde o hacia la zona centro de la ciudad, para otra opción de viaje se elige 0.
Costo/Milla del Automóvil	Costo promedio por viaje en automóvil. Este incluye gasolina, aceite, mantenimiento, pero no costos fijos. Se utiliza el mismo valor para todos los subgrupos. El valor por default que sugiere el sistema es de \$0.08.
Tamaño del automóvil compartido	Tamaño del automóvil compartido. Se usa un valor por default de 2.3.

INTRODUCCIÓN DE DATOS EN LA HOJA DE TRABAJO

Esta sección asume que el usuario está familiarizado con alguna hoja de cálculo (de preferencia lotus 1-2-3 o excel). El formato de la hoja de trabajo que proporciona el sistema se encuentra en el archivo llamado "MODECH_T". Hay una segunda copia llamada "BACKUP_T", en caso de que accidentalmente se dañe el primer archivo.

Cuando se abre el archivo MODECH_T, se observan una serie de celdas, las cuales pueden ser llenadas por el usuario. En la hoja de trabajo, la columnas representan varios subgrupos de viaje. Y los renglones representan variables. Simplemente introduzca cada variable para cada subgrupo. Note que la última columna representa los totales para todos los subgrupos. No intente dar datos en esta columna, ya que estos valores los calculará el sistema.

INTERPRETANDO LOS RESULTADOS

Cuando ya se ha terminado de dar los datos de entrada (o se quieren ver los resultados) presiones la tecla F9, y la hoja de trabajo se actualizará. El cálculo de los modos y número de viajes por modo se muestran en los renglones 131-138. Es conveniente tener los resultados en forma gráfica.

En cuanto a las gráficas, se preparan 3 gráficas. La hoja de trabajo de gráficas se llama "ALL_SHARES". Este es una gráfica de barras la cual tiene 3 barras (correspondientes a los 3 modos) para cada subgrupo y para el total de subgrupos. Esta gráfica se puede ver presionando F10. Las otras dos gráficas también están disponibles. Una es una gráfica de pastel (llamada "TOTAL_PIE") la cual muestra la distribución de los 3 modos en el área total y la otra es una gráfica de barras para transporte público únicamente por cada subgrupo y el total (llamada "TRANSIT_SHARE"). Para ver cada una de estas gráficas se deben usar los comando gráficos empleados en la primera gráfica.



INGENIERÍA DE TRÁNSITO URBANO

CURSO CA097

TEMA: SEÑALAMIENTO Y CONTROL VEHICULAR

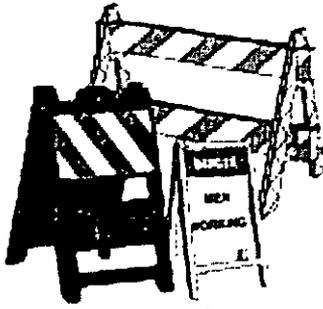
EXPOSITOR: ING. DAVID PADILLA GEORGE

PALACIO DE MINERÍA: JULIO 2004



DIVISION DE
EDUCACIÓN
CONTINUA





SEÑALAMIENTO Y CONTROL VEHICULAR

1. INTRODUCCIÓN

La existencia de la señalización obedece a la necesidad de ofrecer información y seguridad al usuario de calles y carreteras. Debido al incremento del parque vehicular se ha incrementado el número de accidentes. En los últimos años se han hecho esfuerzos por unificar los criterios de uso de los dispositivos de control de tránsito prácticamente en todo el continente americano.

La simbología empleada en la actualidad tiene la ventaja de poder ser comprendida más fácilmente que un texto, es decir, en lugar de letreros se ha optado por usar símbolos, que representan el mensaje que se desea transmitir al usuario. La unificación mundial de la simbología incrementa notoriamente el nivel de servicio ya que, de otra manera, se provoca un caos peligroso así como reacciones desfavorables en el público. En 1952 la Organización de la Naciones Unidas (ONU) presentó un sistema internacional de señales producto de un estudio extenso realizado por varios expertos. Este sistema se basa en dos factores básicos: legibilidad y reacción del individuo. El objetivo es causar el menor cambio posible al usuario. Este sistema se ha adoptado en México desde 1957 oficializándose su uso en 1965.

Por otro lado, teniendo en cuenta la diversidad cultural del país y por ende la existencia de múltiples sitios históricos, culturales, artesanales, etc, en 1978 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Secretaría de Turismo y la entonces Secretaría de Asentamientos Humanos y Obra Pública (SAHOP) crearon el Sistema Nacional de Señalamiento Turístico.

Como definición más formal se entiende por dispositivo de control al elemento que previene, regula y guía a un usuario que hace uso de una calle o carretera y que son instalados por una autoridad pública. Existen distintos tipos de control como son las señales, las marcas, obras y dispositivos diversos, dispositivos para protección en obra y semáforos.

Los requisitos fundamentales que debe cumplir un dispositivo de control son:

- Satisfacer una necesidad
- Llamar la atención
- Transmitir un mensaje simple y claro
- Imponer respeto a usuarios de calles y carreteras
- Estar en el lugar apropiado a fin de dar tiempo para reaccionar.

Para que un dispositivo de control sea efectivo debe satisfacer los siguientes requisitos:

Diseño. La combinación de forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deberán llamar la atención del usuario y transmitirle un mensaje simple y claro.

Ubicación. El dispositivo debe estar ubicado dentro del *cono visual del conductor* para facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad de su vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.

Uniformidad. Los dispositivos de control iguales o similares deberán usarse de manera consistente con el fin de encontrar igual interpretación del mensaje a transmitir a lo largo de su recorrido.

Conservación. Los dispositivos de control deberán mantenerse física y funcionalmente conservados, esto es, limpios y legibles y deberán ser reemplazados con absoluta prontitud.

1.1 Cono visual del conductor

La visión normal de una persona viendo hacia el frente abarca un ángulo de 180°. Casi todas las personas percibe lo que sucede a ambos lados de la cabeza pero sin distinguir detalles. Éstos únicamente se identifican en un ángulo más cerrado. Llamado ángulo central de visión periférica, que varía entre 120° y 160°.

También hay personas que padecen un defecto conocido como visión de túnel, que consiste en la incapacidad de distinguir fuera de cierto cono visual. El caso es crítico cuando el ángulo de visión es menor a 140° y, bajo esta circunstancia, la persona no deberá conducir un vehículo.

Algo semejante a la visión de túnel sucede a las personas que conducen a alta velocidad. A medida que el vehículo aumenta la velocidad el conductor sufre de visión de túnel, debido a que enfoca a mayor distancia, dejando de percibir detalles de los lados. Sólo ve claramente dentro de un cono cuyo vértice es el centro de los ojos. En una ciudad, en donde hay múltiples detalles y precauciones que tomar, la velocidad no debe ser alta porque el conductor pierde la capacidad de distinguir lo que sucede a su alrededor inmediato.

Debido a la concentración visual, el alcance efectivo de la visión periférica se contrae al incrementarse la velocidad, desde un ángulo central de 100° a 30 km/h hasta un ángulo de 40° 100 km/h. En otras palabras, si se atraviesa un poblado a 100 km/h, no se perciben los detalles que estén dentro de un ángulo cerrado de 40°. Este aspecto es importante, ya que la lectura de textos se puede realizar sobre señales que estén ubicadas en ciertos ángulos.

Igualmente, a medida que aumenta la velocidad del vehículo aumenta la distancia a la cual la persona está enfocando su visión. Así se tiene que a una velocidad de 30 km/h la vista de la persona está fija en un punto a 300 metros y a 80 km/h, la vista estará fija a 450 metros.

2. SEÑALAMIENTO HORIZONTAL

Es el conjunto de marcas que tienen por objeto delinear las características geométricas de las vialidades y describir todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, con el fin de regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios. Estas marcas pueden ser Rayas, símbolos, letras o dispositivos, que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro o adyacentes a las vialidades.

El señalamiento horizontal se clasifica de la siguiente manera.

Tabla 2.1 Clasificación del señalamiento horizontal

Clasificación	Nombre
M-1	Raya separadora de sentidos de circulación
M-1.1	Raya continua sencilla (Calzada hasta 6.5 m)
M-1.2	Raya discontinua sencilla (Calzada hasta 6.5 m)
M-1.3	Raya continua doble (Calzada hasta 6.5 m)
M-1.4	Raya continua discontinua (Calzada mayor de 6.5 m)
M-1.5	Raya discontinua sencilla (Calzada mayor de 6.5 m)
M-2	Raya separadora de carriles
M-2.1	Raya separadora de carriles, continua sencilla
M-2.2	Raya separadora de carriles, continua doble
M-2.3	Raya separadora de carriles, discontinua
M-3	Raya en la orilla de calzada
M-3.1	Raya en la orilla derecha, continua
M-3.2	Raya en la orilla derecha, discontinua
M-3.3	Raya en la orilla izquierda
M-4	Raya guía en zonas de transición
M-5	Rayas canalizadoras
M-6	Raya de alto
M-7	Rayas para cruce de peatones
M-7.1	Rayas para cruce de peatones en vías rápidas
M-7.2	Rayas para cruce de peatones en calles secundarias
M-8	Marcas para cruce de ferrocarril
M-9	Rayas con espaciamiento logaritmico
M-10	Marcas para estacionamiento
M-11	Símbolos para regular el uso de carriles
M-12	Marcas en guarniciones
M-12.1	Para prohibir el estacionamiento
M-12.2	Para delinear guarniciones
M-13	Marcas en estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodamiento
M-13.1	Marcas en estructuras
M-13.2	Marcas en otros objetos
DH-1	Vialetas sobre el pavimento
DH-2	Vialetas sobre estructuras
DH-3	Botones

2.1 Marcas en el pavimento

Se usan para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones. Deben ser de color reflejante blanco o amarillo y, cuando el pavimento por su color no proporcione el suficiente contraste con las marcas, se recomienda delinearlas, en todo su contorno, con franjas de 5 cm de ancho en color negro.

Tabla 2.1 Longitud de la raya separadora de sentidos de circulación continua en la aproximación de una intersección.

Velocidad de proyecto o de operación (km/h)	Longitud de la raya (m)
≤ 30	30
40	45
50	65
60	85
70	119
80	140
90	170
100	205
110	245
120	285

Tabla 2.2 Ancho de la raya¹

Tipo de vialidad	Ancho de la raya (cm)
Autopistas ²	15
Carretera ET2 ³	
Carretera ET4	
Carretera A4	
Carretera A2	10
Carretera B4	
Carretera B2	
Carretera C	
Carretera D	
Vialidades urbanas	

¹ En tramos donde existan problemas de visibilidad por condiciones climáticas adversas u otros factores que puedan poner en riesgo al usuario, se pueden utilizar rayas hasta del doble de ancho indicado

² Carretera Tipo A y ET con accesos controlados

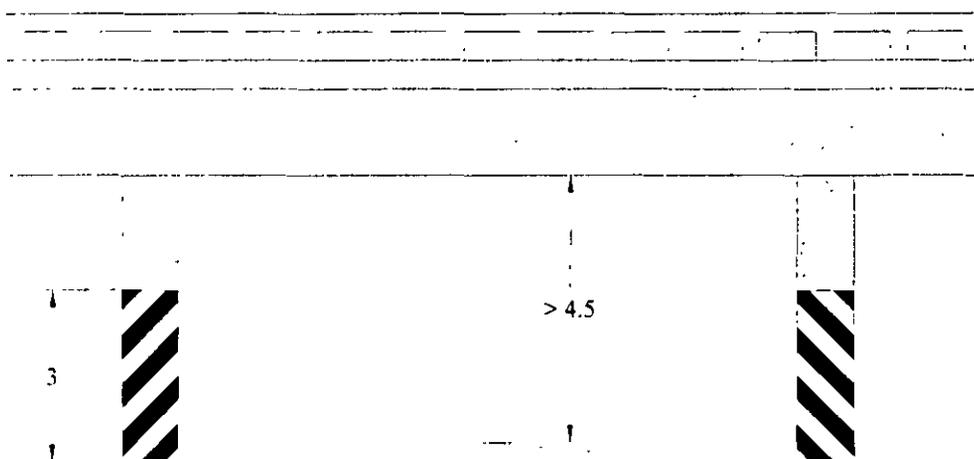
³ Ver *Clasificación de los caminos y puentes de Jurisdicción Federal* en la siguiente sección

2.2 Marcas en guarniciones

Se usan para delinear las banquetas y guarniciones, así como para indicar las restricciones de estacionamiento, cubriendo tanto la cara vertical como la horizontal de la guarnición. Se pintarán en color amarillo.

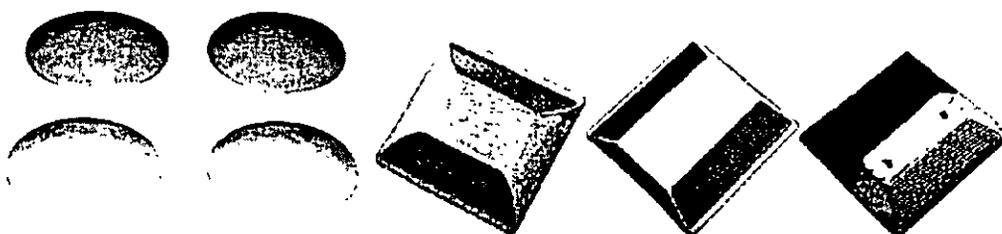
2.3 Marcas en estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodamiento

Se utilizan en calles, carreteras y autopistas para indicar a los conductores la presencia de estructuras u objetos adyacentes a la calzada siempre que estén ubicados a una distancia hasta de 3 m de la orilla del carril, o más, su a juicio del proyectista pudieran constituir un riesgo para los usuarios.



2.4 Viales y botones

Son dispositivos que se colocan en la superficie de rodamiento o en el cuerpo de las estructuras adyacentes a la vialidad. Las vialetas se usan para complementar las marcas, mejorando la visibilidad de la geometría de la vialidad, cuando prevalecen condiciones climáticas adversas y/o durante la noche, mientras que los botones se emplean colocados en el pavimento, para transmitir al usuario, mediante vibración y sonido, una señal de alerta.



Los botones se utilizan como complemento de las rayas de espaciamiento logarítmico y como vibradores para indicar la proximidad a una caseta o cruce ferroviario.

2.5 Clasificación de los caminos y puentes de Jurisdicción Federal.⁴

CARRETERA TIPO ET

Son aquellas que forman parte de los ejes de transporte que establezca la Secretaría, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la Secretaría, y que su tránsito se confíe a este tipo de caminos.

CARRETERA TIPO A

Son aquellas que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos vehículos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.

CARRETERA TIPO B

Son aquellas que conforma la red primaria y que atendiendo sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.

CARRETERA TIPO C

Red secundaria.- Son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.

CARRETERA TIPO D

Red alimentadora.- Son carreteras que atendiendo sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

Atendiendo a sus Características Geométricas, se tipifican en:

Tipo de Carretera	Nomenclatura
Carretera de cuatro carriles, Eje de Transporte	ET4
Carretera de dos carriles, Eje de Transporte	ET2
Carretera de cuatro carriles	A4
Carretera de dos carriles	A2
Carretera de cuatro carriles, red primaria	B4
Carretera de dos carriles, red primaria	B
Carretera de dos carriles, red secundaria	C
Carretera de dos carriles, res alimentadora	D

⁴ Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de auto transporte que transitan en los caminos y puentes de Jurisdicción Federal

3. SEÑALAMIENTO VERTICAL

3.1 Preventiva

La señalización preventiva se identifica con el código **SP** y tiene como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia, sobre a un lado de la carretera o calle, de un peligro potencial y su naturaleza. Así se cumple con la regla de oro del tránsito que dice "que no deben existir cambios bruscos"; la señal por sí misma debe provocar que el conductor adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su velocidad o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón.

Casos en los que se usa este tipo de señalización

Esta señalización deberá instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial. Las características que pueden justificar el uso de señales preventivas son las siguientes:

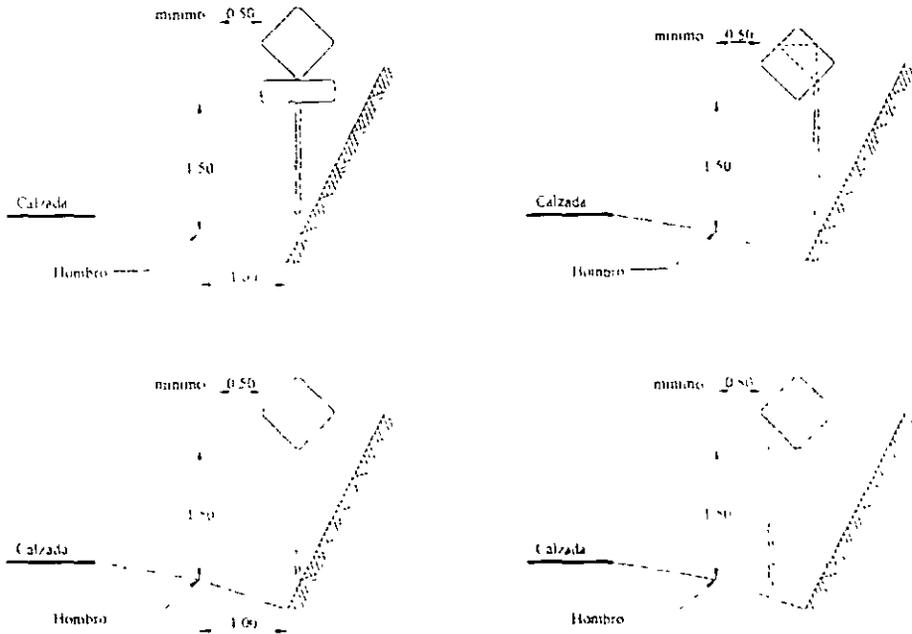
- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical por la presencia de curvas
- Presencia de intersecciones con carreteras, calles o pasos a desnivel con vías de ferrocarril
- Reducción o aumento del número de carriles así como cambios de anchura del pavimento
- Pendientes peligrosas
- Proximidad de un cruce donde existe un semáforo o donde se debe hacer un alto
- Pasos peatonales o cruces escolares
- Condiciones deficientes en la superficie de la carretera o calle, con presencia de huecos y protuberancias
- Presencia de derrumbes o grava suelta.
- Aviso anticipado de dispositivos de control por obras de construcción

El tablero de las señales preventivas será de forma cuadrada, de esquinas redondas, que se colocarán con una de sus diagonales en sentido vertical tomando la forma de diamante. Las señales que requieran una explicación complementaria además del símbolo llevarán un tablero adicional en su parte inferior de forma rectangular con las esquinas redondeadas, con leyendas como "principia", "termina", la longitud en que se presenta la situación que se señala formando así un conjunto.

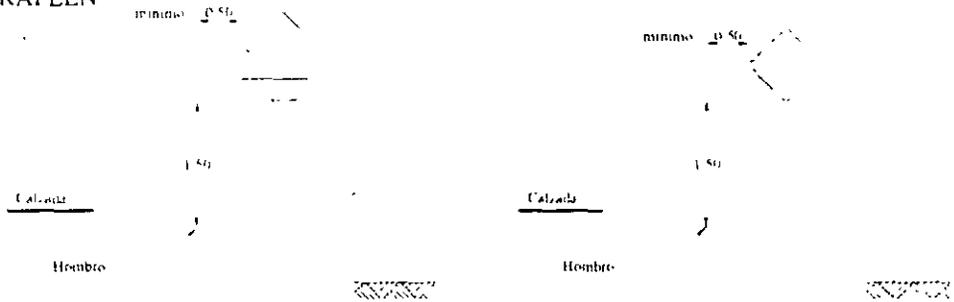
Los colores de las señales preventivas serán en acabado reflejante o mate, así: amarillo para el fondo, y negro para el símbolo, leyendas caracteres y filete.

La ubicación de las señales preventivas en sentido longitudinal será antes del riesgo que se trate de señalar a una distancia que depende de la velocidad de aproximación. En sentido lateral las señales se fijarán en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras o sobre la banqueta en calles, a las distancias y alturas que se especifican en las figuras siguientes. (Las acotaciones se expresan en metros)

DISTANCIA LATERAL Y ALTURA DE SEÑALES PREVENTIVAS
EN CORTE



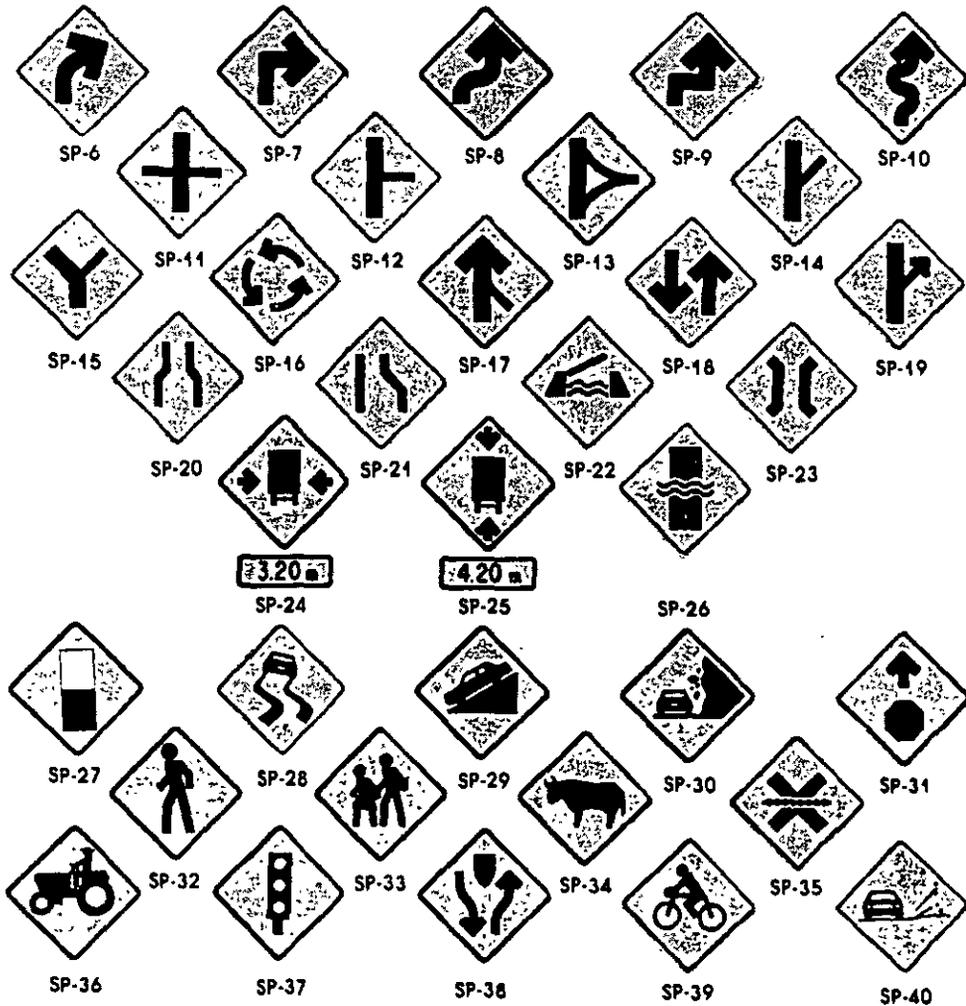
DISTANCIA LATERAL Y ALTURA DE SEÑALES PREVENTIVAS
EN TERRAPLÉN



EN ZONA URBANA



SEÑALES PREVENTIVAS

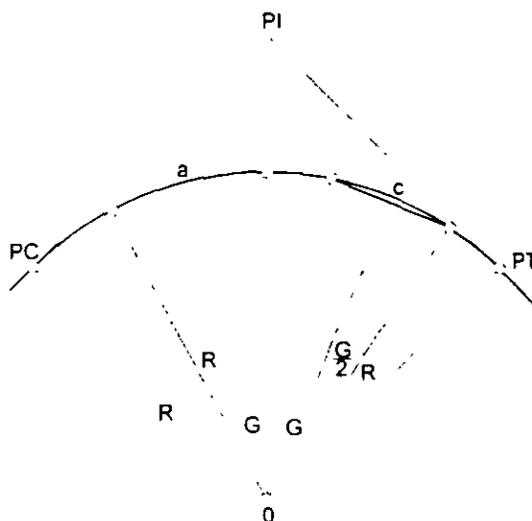
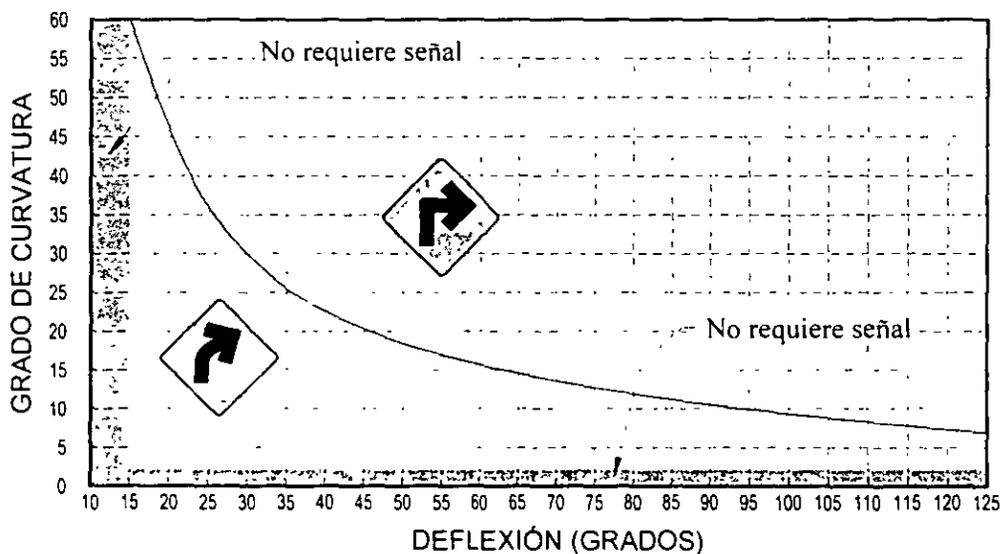


Las señales preventivas se colocarán antes del riesgo que se trate de señalar, a una distancia que depende de la velocidad de proyecto de la vialidad. En calles se utilizará la velocidad de marcha.

Velocidad km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia m	30	45	65	85	110	140	170	205	245	285

<u>Dimensiones de Señales Preventivas</u>	
Dimensiones (cm)	Uso
61 x 61	Carreteras con ancho de corona menor a 6 m y calles urbanas
71 x 71	Carreteras con ancho de corona entre 6 y 9 m y avenidas principales urbanas
86 x 86	Carreteras con ancho de corona entre 9 y 12 m, vías rápidas urbanas y carreteras de cuatro carriles donde se puedan ubicar por el mismo sentido en ambos lados
117 x 117	En carreteras con cuatro carriles o más, con o sin separador central

Cabe hacer la aclaración de cuándo usar las señales preventivas tipo SP-6 (curva) y SP-7 (codo). Éste uso depende del grado de curvatura y deflexión de acuerdo a la gráfica siguiente.



Se llama grado de curvatura G al valor del ángulo central correspondiente a un arco o una cuerda de determinada longitud, escogidos como arco unidad a o cuerda unidad c . La curva mostrada a la izquierda ilustra este concepto. La curvatura de un arco circular se fija también por su radio de curvatura R .

3.2 Restrictiva

Las señales restrictivas, identificadas con el código **SR**, tienen como función expresar en la carretera o calle alguna frase del Reglamento de Tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario. En general, tienden a restringir algún movimiento del mismo, recordándole la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Infringir las indicaciones de una señal restrictiva acarreará las sanciones previstas por las autoridades de tránsito.

Las señales restrictivas de acuerdo a su uso se clasifican en los siguientes grupos:

- De derecho de paso o vía
- De inspección
- De velocidad máxima o mínima
- De movimientos o circulación
- De mandato por restricciones y prohibiciones
- De estacionamiento

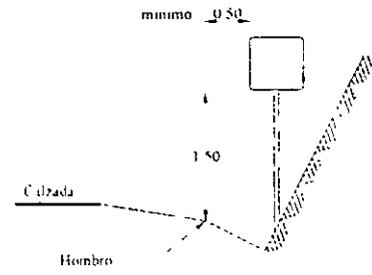
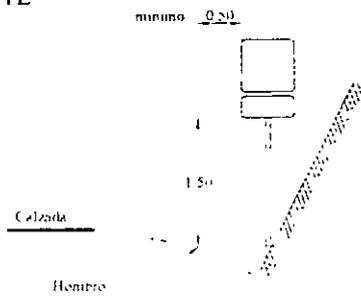
El tablero de las señales restrictivas será de forma cuadrada con las esquinas redondeadas, excepto las señales de "ALTO", que tendrá forma octagonal, y "CEDA EL PASO", que tendrá forma de un triángulo equilátero con uno de sus vértices hacia abajo. Las señales que requieran una explicación complementaria, además del símbolo llevarán un tablero adicional en su parte inferior de forma rectangular con las esquinas redondeadas, colocado en su parte inferior formando un conjunto.

El color del fondo de las señales restrictivas será el blanco en acabado reflejante o mate. El anillo y la franja diagonal en rojo y el símbolo, letras y filete en negro, excepto las señales de "ALTO" y "CEDA EL PASO". La señal de "ALTO" llevará un fondo rojo con letras y filete en blanco. La señal de "CEDA EL PASO" llevará el fondo blanco, con letras en negro y franja perimetral en rojo.

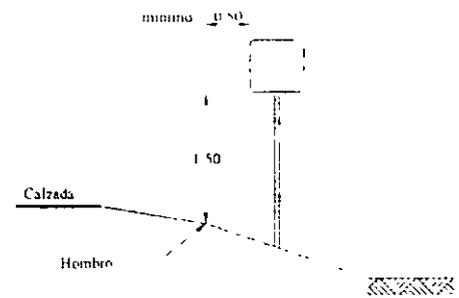
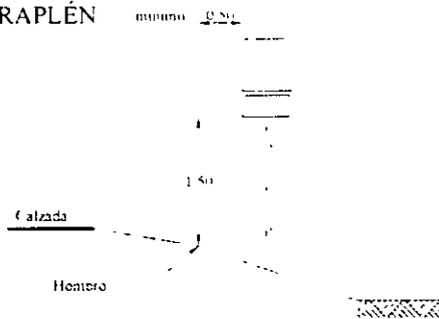


La ubicación *longitudinal* de las señales restrictivas será en el punto mismo donde existe la restricción o prohibición. En sentido *lateral* las señales se fijarán en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras y sobre la banqueta en calles, a las distancias y alturas de la figura siguiente. (Las acotaciones se expresan en metros)

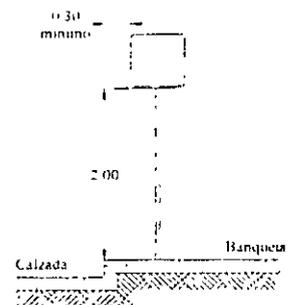
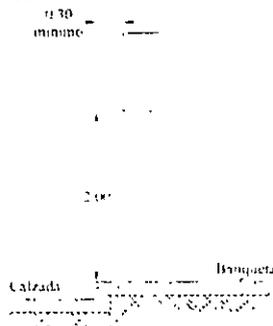
DISTANCIA LATERAL Y ALTURA DE SEÑALES RESTRICTIVAS EN CORTE



EN TERRAPLÉN



EN ZONA URBANA



SEÑALES RESTRICTIVAS



SR-6



SR-7



SR-8



SR-9



SR-10



SR-11



SR-11A



SR-12



SR-13



SR-14



SR-15



SR-16



SR-17



SR-18



SR-19



SR-20



SR-21



SR-22



SR-23



SR-24



SR-25



SR-26



SR-27



SR-28



SR-29



SR-30



SR-31



SR-32



SR-33

4.20 m

3.3 Informativa

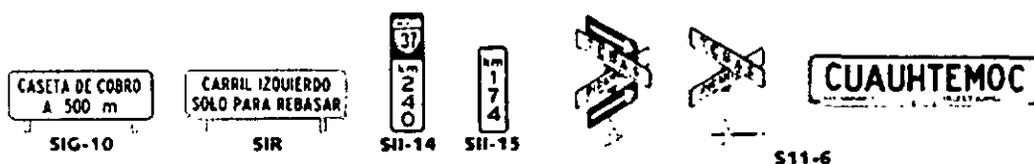
Las señales informativas identificadas con el código **SI**, tienen como función guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras e informarle sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes y ciertas recomendaciones que conviene observar. Las señales informativas, de acuerdo al mensaje que transmiten se clasifican en:

3.3.1 De identificación

Informativas de identificación (Código SII). Tienen como función identificar las calles según su nombre y nomenclatura, y las carreteras según su número de ruta y/o kilometraje.

La forma de las señales de nomenclatura será rectangular con mayor dimensión horizontal y con la leyenda en ambas caras. Las señales de ruta tendrán forma de escudo, federal, estatal o camino rural, colocado sobre un tablero rectangular, que incluye una flecha que indica la trayectoria que sigue la ruta, o dentro de las señales informativas de destino. El tablero de las señales de kilometraje será rectangular colocado en su mayor dimensión vertical.

El color del fondo de las señales de identificación será blanco reflejante, y las letras, números, flechas y filete negro.



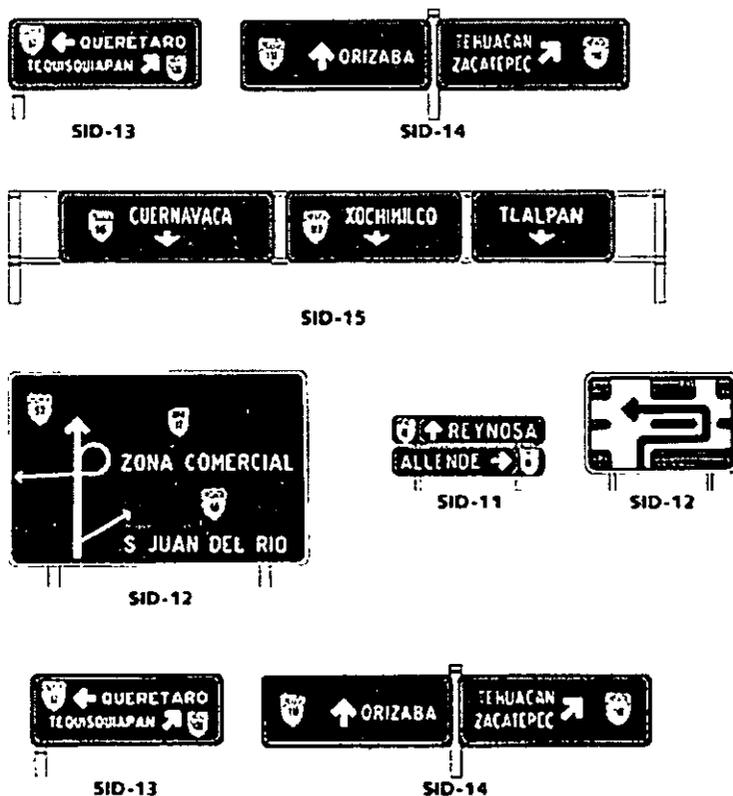
3.3.2 De destino

Informativas de destino (Código SID). Tienen como función informar a los usuarios sobre el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido. Podrán ser señales bajas, diagramáticas y elevadas. Su aplicación es primordial en las intersecciones, donde el usuario debe elegir la ruta a seguir según el destino seleccionado. Se emplearán en forma secuencial de tal manera que permitan a los conductores preparar con la debida anticipación su maniobra en la intersección, ejecutarla en el lugar preciso, y confirmar la correcta selección del destino.

Su forma será rectangular, colocadas con su mayor dimensión horizontal, sobre apoyos adecuados.

El color del fondo de las señales de destino será verde mate y los números, letras, flechas, escudos y filete en color blanco reflejante, excepto la señal diagramática en zona urbana, que será de fondo blanco con caracteres, flecha alargada y filete en color negro.

De acuerdo a su ubicación longitudinal, las señales informativas de destino se clasificarán en previas, decisivas y confirmativas. Las señales previas deberán colocarse anticipadas a la intersección, a una distancia tal que permita a los conductores conocer los destinos y preparar las maniobras para tomar el elegido. Las señales decisivas se colocarán donde el usuario pueda optar por la ruta que le convenga. Las señales confirmativas se colocarán después de una intersección o a la salida de una población, a una distancia donde no exista el efecto de los movimientos direccionales ni la influencia del tránsito urbano.



3.3.3 De recomendación

Código **SIR**. Tiene como función recordar a los usuarios determinadas recomendaciones o disposiciones de seguridad que conviene observar durante su recorrido por calles y carreteras.

Serán de forma rectangular, colocadas con su mayor dimensión horizontal sobre apoyos adecuados.

El color del fondo de las señales de recomendación será blanco mate, con letras y filete negro.

Se colocarán en aquellos lugares donde sea conveniente recordar a los usuarios la observancia de la disposición de que se trate.

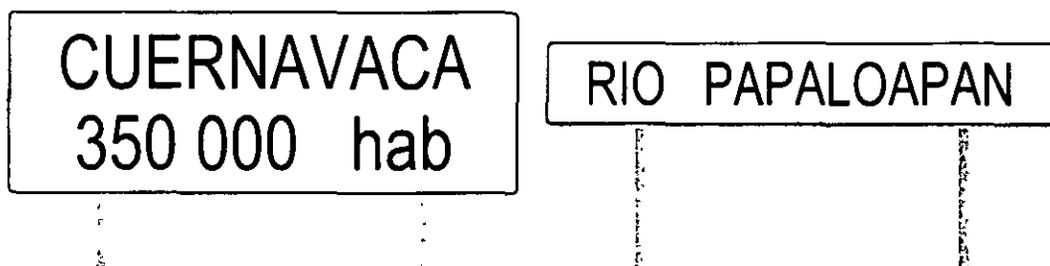


3.3.4 De información general

Código **SIG**. Tiene como función proporcionar a los usuarios, información general de carácter poblacional y geográfico, así como indicar nombres de obras importantes en la carretera, límites políticos, ubicación de casetas de cobro, puntos de inspección y sentidos de circulación del tránsito.

Su forma será rectangular con su mayor dimensión horizontal colocada sobre apoyos adecuados.

El color del fondo de las señales de información general será blanco mate con letras y filete negro. Las que indican sentido de circulación del tránsito tendrán fondo negro y flechas de color blanco reflejante.



3.3.5 De servicios y turística

Códigos SIS y SIT. Tiene como función informar a los usuarios la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico y/o recreativo.

La forma del tablero será en cuadrado. Podrá llevar un tablero adicional rectangular donde se indica la dirección o la distancia del sitio.

El color del fondo tanto del tablero de las señales como del tablero adicional será azul mate con símbolos, letras, flechas y filetes en blanco reflejante.

Se colocarán en el lugar donde existe el servicio y a un kilómetro del mismo. Cuando se estime conveniente, estas señales podrán colocarse a la salida de las poblaciones para indicar la distancia a la que se encuentra él o los servicios más próximos que se indican en la señal.



4. DISPOSITIVOS

Los dispositivos para protección en obras, identificados con el código DP, son las señales y otros medios que se usan transitoriamente para proporcionar seguridad a los usuarios, peatones y trabajadores y seguir el tránsito a través de calles y carreteras en construcción o conservación.

Se clasifican en señales preventivas, señales restrictivas, señales informativas, canalizadores y señales manuales.

Las señales *preventivas* se utilizan para prevenir a los usuarios sobre la existencia de una situación peligrosa y la naturaleza de ésta, motivada por la construcción y conservación de una calle o carretera, así como proteger a peatones, trabajadores y equipo de posibles accidentes. Serán rectangulares con una diagonal vertical, de fondo color naranja, con símbolos, leyendas, caracteres y filete negro.

Las señales *restrictivas* se emplearán para indicar a los conductores ciertas restricciones y prohibiciones que regulan el uso de las vías de circulación en calles y carreteras que se encuentran en proceso de construcción o conservación. La forma y color serán las mismas definidas anteriormente para este tipo de señales.

Las señales *informativas* tendrán por objeto guiar a los conductores en forma ordenada y segura, de acuerdo con los cambios temporales necesarios durante la construcción o conservación de calles y carreteras. Serán rectangulares con su mayor dimensión horizontal, de fondo color naranja, con leyendas, caracteres y filete en negro.

Los *canalizadores* son elementos que se usan para encauzar al tránsito de vehículos y peatones a lo largo de un tramo en construcción o conservación, tanto en calles como en carreteras, para indicar cierres, estrechamientos y cambios de dirección de la ruta con motivo de la obra. Se clasifica en barreras, conos, indicadores de alineamiento, marcas en el pavimento, dispositivos luminosos e indicadores de obstáculos. Las barreras se pintarán con franjas inclinadas alternadas en colores naranja y negro. Los conos serán de color naranja con una franja de color blanco en el extremo superior. Los indicadores de alineamiento, las marcas en el pavimento y los indicadores de obstáculos tendrán las mismas características descritas anteriormente, conservando el color naranja. Los dispositivos luminosos, como mecheros, linternas, lámparas de destello y luces eléctricas, se utilizarán durante la noche o cuando la claridad y la visibilidad disminuyan y se haga necesario llamar la atención e indicar la existencia de obstrucciones peligrosas.

Las *señales manuales* son banderas y lámparas operadas manualmente que sirven para controlar el tránsito de vehículos y peatones en las zonas de trabajo.

DISPOSITIVOS PARA PROTECCION EN OBRAS



DPP



DPP



DPI-7



DPI-7



DPI-7



DPI-8



DPI-8



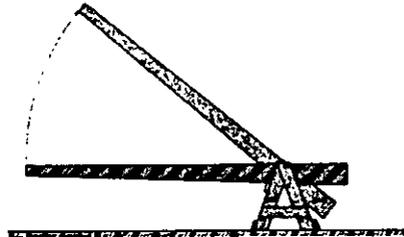
DPI-8



DPI-9



DPC-1



DPC-1

4.1 Semáforos

Los semáforos son dispositivos eléctricos que tienen como función ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en calles y carreteras por medio de luces generalmente de color rojo, amarillo y verde, operados por una unidad de control.

Con base en el mecanismo de operación de los controles de los semáforos, éstos se clasifican en:

1. Semáforos para el control de tránsito de vehículos.
 - No accionados por el tránsito.
 - Accionados por el tránsito.
 - Totalmente accionados por el tránsito.
 - Parcialmente accionados por el tránsito.
2. Semáforos para pasos peatonales.
 - En zonas de alto volumen peatonal.
 - En zonas escolares.
3. Semáforos especiales.
 - De destello.
 - Para regular el uso de carriles.
 - Para puentes levadizos.
 - Para maniobras de vehículos en emergencia.
 - Con barreras para indicar aproximación de trenes.

Los colores de los semáforos serán como sigue:

1. Rojo fijo

Los conductores de los vehículos se detendrán antes de la raya de parada. Los peatones no cruzarán la vía, a menos que algún semáforo les dé la indicación de paso.

2. Amarillo fijo

Advierte a los conductores de los vehículos que está a punto de aparecer la luz roja y que el flujo vehicular que regula la luz verde debe detenerse. De la misma manera avisa a los peatones que no disponen de tiempo suficiente para cruzar, excepto cuando exista algún semáforo indicándoles que pueden realizar el cruce. Sirve para despejar el tránsito en una intersección y para evitar frenadas bruscas.

3. Verde fijo

Los conductores de los vehículos podrán seguir de frente o dar vuelta a la derecha o a la izquierda, a menos que una señal prohíba dichas vueltas. Los peatones que

avancen hacia el semáforo podrán cruzar, a menos que algún otro semáforo les indique lo contrario.

4. Rojo intermitente

Cuando se ilumine una lente roja con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos harán alto obligatorio y se detendrán antes de la raya de parada. Se empleará en el acceso a una vía principal.

5. Amarillo intermitente

Cuando se ilumine una lente amarilla con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos realizarán el cruce con precaución. Se empleará en la vía que tenga la preferencia.

6. Verde intermitente

Cuando una lente verde funcione con destellos intermitentes, advierte a los conductores el final del tiempo de luz verde.

Las flecha direccionales deberán apuntar hacia el sentido de la circulación. La flecha vertical apuntando hacia arriba, indica circulación de frente. La flecha horizontal indica vuelta aproximadamente en ángulo recto a la derecha o hacia la izquierda. La flecha oblicua, a 45° apuntando hacia arriba, indica vueltas a calles que forman ángulos distintos al de 90°.

La cara de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara y porta lámpara) que están orientadas en la misma dirección. Como mínimo habrá dos caras para cada acceso y en su caso se complementarán con semáforos para peatones ubicados en los extremos de cada paso peatonal.

4.2 Plumas

Estos dispositivos se denominan también semáforos o barreras para indicar la aproximación de trenes y se definen como los dispositivos que indican a los conductores de vehículos y a los peatones, la aproximación o presencia de trenes, locomotoras o carros de ferrocarril en cruces nivel con calles y carreteras.

La barrera o pluma para cruces a nivel de ferrocarril, será un tablero trapezoidal que desciende hasta la posición horizontal y que se extiende sobre el camino o la calle en los dos sentidos, hasta una distancia suficiente que abarque la totalidad de los carriles del tránsito en el acceso al cruce, para impedir la circulación de vehículos cuando se aproxima y pasa un tren.

Requisitos que justifican su instalación

Los semáforos y las barreras deben instalarse en un cruce a nivel de ferrocarril con una calle o carretera, cuando un estudio de ingeniería de tránsito indique la necesidad de controlar el cruce.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SEMÁFOROS

Los semáforos para cruces a nivel de ferrocarril con caminos o calles, son de destello y se componen de dos luces rojas dispuestas horizontalmente, que se encienden y apagan en forma alternada a intervalos previamente establecidos.

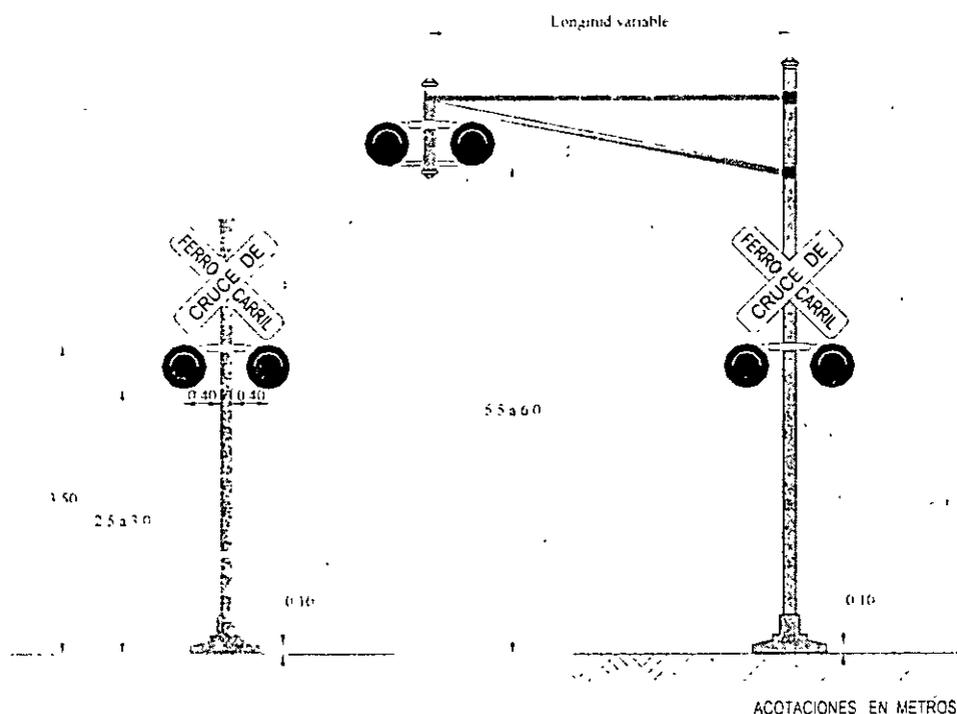
Las caras de los semáforos quedarán orientadas hacia el tránsito que se aproxime al cruce con la vía del ferrocarril, de tal manera que brinde la máxima visibilidad al conductor.

Se podrán instalar más de una cara en el mismo poste con el auxilio de un soporte tipo ménsula en los siguientes casos.

- Cuando al acceso principal concorra uno o más caminos adyacentes próximos al cruce de ferrocarril.
- Donde se necesite una mayor visibilidad de los semáforos como en caminos de varios carriles.
- Cuando se requiera un énfasis adicional como en carreteras de alta velocidad y carreteras con alto volumen vehicular.
- En lugares donde el conductor pueda distraerse fácilmente.

Las lentes serán de forma circular con un diámetro de 30 cm y deberán estar provistas de una pantalla color negro con un diámetro de 50 cm colocadas en la parte posterior de la lente para proporcionar mayor visibilidad a la indicación; además, llevarán una visera en la parte superior.

Los semáforos se instalarán de manera que den la indicación debida a los vehículos que se aproximan por la calle o carretera y tendrán la forma y dimensiones mostradas en la figura siguiente.



En cada acceso de la calle o carretera al cruce de la vía o vías férreas, se instalará un semáforo, excepto en calles con circulación en un solo sentido, en las que se colocará sólo en el lado del acceso vehicular. Los semáforos se colocarán preferentemente a la derecha del tránsito que se aproxima.

La distancia que medirá a lo largo de la calle o carretera, entre la parte más cercana del semáforo o la barrera en su posición horizontal y el riel más próximo, será de 3.00 m como mínimo. Los semáforos se colocarán no menos de 60 cm fuera del camino o calle a partir de la orilla de la calzada o de la orilla exterior del acotamiento pavimentado, cuando dicho acotamiento se prolongue sobre los rieles.

La parte inferior de las lentes de los semáforos deberá quedar a una altura no menor de 2.50 m ni mayor de 3.00 m, medida sobre el nivel de la orilla de la calzada o carretera o de la banqueta, cuando se instalen en soportes tipo poste. Si quedan suspendidas sobre el camino, la altura libre no deberá ser mayor de 6.00 ni menor de 5.50 m.

CARACTERÍSTICAS DE PLUMAS O BARRERAS

Las barreras o plumas para protección del tránsito de un camino o calle en un cruce a nivel con ferrocarril serán de forma trapezoidal con la base menor de 15 cm y la mayor de 30 cm formando un ángulo de 90° en su lado superior.

Deberán ser automáticas y se equiparán con tres luces rojas sobre la parte superior del travesaño que se iluminará en los dos sentidos del tránsito del camino o de la calle. La luz más próxima a la punta se iluminará en forma fija y las otras dos se encenderán y apagarán alternadamente, en forma sincronizada con las luces del semáforo que indican la aproximación de trenes. Las lentes instaladas sobre las barreras tendrán un diámetro mínimo de 10 cm.

La barrera se pintará con franjas diagonales de 40 cm de ancho con colores blanco reflejante y rojo, con una inclinación de 45° descendiendo hacia la izquierda.

Una barrera automática servirá como complemento de un semáforo de destello. Las barreras deben instalarse en el mismo soporte del semáforo. Sin embargo, si las condiciones lo demandan, se puede colocar sobre postes, pedestales o estructuras independientes, ubicados entre el semáforo y la vía del tren.

La parte inferior de la barrera cuando esté en posición horizontal quedará a una altura mínima de un metro o máximo de 1.40 m sobre la corona del camino.

Los semáforos y dispositivos para indicar que se aproxima un tren se controlarán de manera que empiecen a funcionar antes de la llegada del mismo al cruce, con un lapso razonable para dar la debida protección.

Cuando los semáforos para el control de tránsito de vehículos estén ubicados en intersecciones situadas cerca de los semáforos para indicar la proximidad de trenes, se debe prestar atención especial a la sincronización de los dos sistemas.

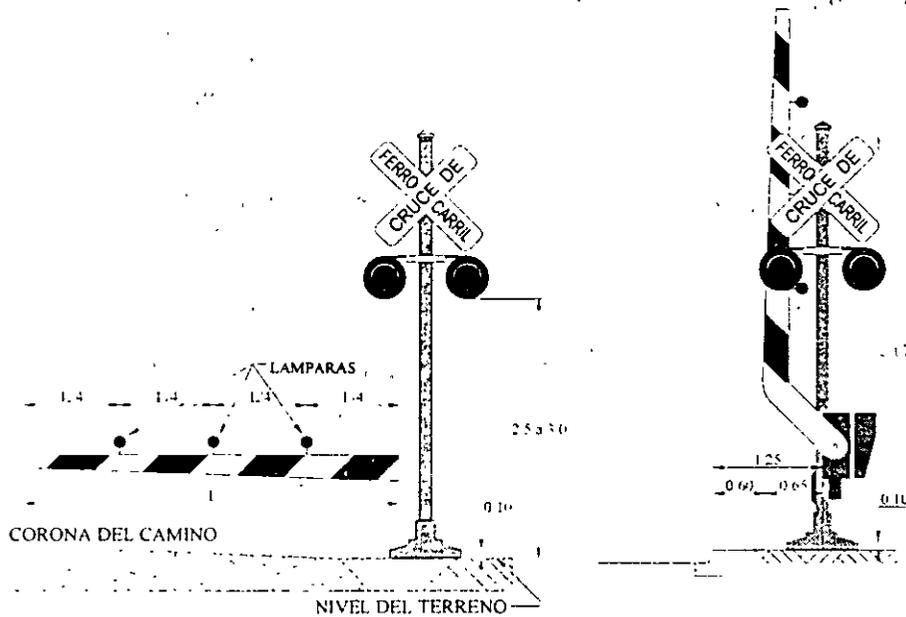
En donde exista una intersección cercana al cruce de ferrocarril a nivel en el que uno de los caminos sea sensiblemente paralelo a la vía del ferrocarril, se recomienda instalar un semáforo complementario que muestre las indicaciones de no dar vuelta a la derecha o a la izquierda del camino paralelo, cuando el ferrocarril se encuentre en el cruce.

Los circuitos para la operación automática se dispondrán de manera que la barrera inicie su movimiento descendente 3 segundos como mínimo, después de que el semáforo empiece a funcionar; la barrera quedará en posición horizontal antes de la llegada del tren más rápido y permanecerá así hasta que la parte posterior del tren haya salido del cruce.

Los mecanismos se deben proyectar de manera que si la barrera mientras se eleva o baja golpea algún objeto se detenga inmediatamente y al quitar la obstrucción continúe hasta la posición exigida por el mecanismo de control.

En cruces donde existan diferencias importantes entre las velocidades de los trenes, conviene instalar un control que permita ajustar los tiempos a sus velocidades de operación.

Las lámparas se iluminarán alternadamente y el número de destellos por minuto para cada una será de 35 a 45 destellos por minuto. Cada lámpara se iluminará durante aproximadamente la mitad del ciclo de operación.



Bibliografía

Cal y Mayor Rafael, Cárdenas James
INGENIERÍA DE TRÁNSITO Fundamentos y aplicaciones
7ª Edición
Editorial Alfaomega
México 1994

Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Dirección General de Servicios Técnicos
MANUAL DE DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO EN CALLES
Y AVENIDAS
5ª Edición
México 1986

Instituto Mexicano del Transporte
SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN CALLES Y
CARRETERAS. Proyecto de Señalamiento
México 1999

CONTENIDO

1. SEÑALIZACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.1 Preventiva	3
1.2 Restrictiva	17
1.3 Informativa	20
1.3.1 De identificación	20
1.3.2 De destino	20
1.3.3 De recomendación	21
1.3.4 De información general	22
1.3.5 De servicios y turística	23
2. DISPOSITIVOS	24
2.1 Semáforos	26
2.2 Plumas	28
Bibliografía	32