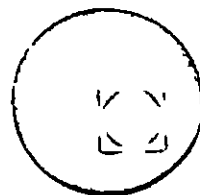




centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION  
CONTINUA

La Facultad de Ingeniería, por conducto del Centro de Educación Continua, otorga constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en el diploma, deberán entregar copia del mismo o de su cédula profesional a más tardar el Segundo Día de Clases, en las oficinas del Centro, con la Señorita Barraza, de lo contrario no será posible. El control de asistencia se efectuará a través de la persona encargada de entregar notas, en la mesa de entrega de material, mediante listas especiales. Las ausencias serán computadas por las autoridades del Centro.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Al finalizar el curso se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes.

Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, es importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción con los datos que se les solicitan al iniciarse el curso.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO  
COORDINADOR DE CURSOS.

Tacuba 5, primer piso México 1, D. F.  
Teléfonos: 521-30-95 y 513-27-95



PLANIFICACION VIAL URBANA

FECHA	DURACION	TEMA	PROFESOR
Enero 19	20 a 21 h	INTRODUCCION	ARQ. JOAQUIN ALVAREZ ORDOÑEZ
Enero 19 " 21 y 23	18 a 20 h 18 a 21 h c/día	INFORMACION BASICA  1. Características Físicas 2. Uso de la Tierra 3. Densidad y Distribución de la Población 4. Clasificación de Calles 5. Características Operacionales 6. Transporte 7. Recursos Financieros 8. Desarrollo de las ciudades	ING. ENRIQUE SALCEDO MARTINEZ
Enero 26 y 28	18 a 21 h c/día	PREDICCIONES AL FUTURO  1. Localización y Densidad de Población 2. Localización Anticipada del Uso Futuro de la Tierra 3. Determinación de los Deseos de Viaje Futuros	ING. JORGE SUAREZ RUELAS ING. LUIS F. BALCAZAR QUINTERO
Enero 30 y Febrero 2	18 a 21 h c/día	ANALISIS	ING. GILBERTO SANCHEZ ANGELES
Febrero 4	18 a 19 h	1. Capacidad de la Red Existente y su Solución 2. Asignación de Viajes (estudios) 3. Sistemas de Transporte	
Febrero 4 Febrero 6 Febrero 9	19 a 21 h 18 a 21 h 18 a 19 h	PLANEACION  1. Planeación de Autopistas Arterias Principales y Calles. 2. Asignación del Tránsito 3. Análisis de Capacidad 4. Análisis de Beneficio-Costo	ING. JOSE MIRABENT GONZALEZ JAUREGUI

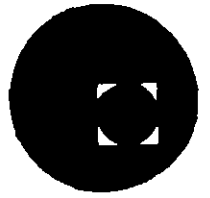
PLANIFICACION VIAL URBANA

FECHA	DURACION	TEMA	PROFESOR
Febrero 9 Febrero 11	19 a 21 h 18 a 21 h	PROGRAMACION (Desarrollo p:r Etapas)	ING. MIGUEL A. NAVA URIZA
Febrero 13	18 a 20 h	RECOMENDACIONES	ARQ. RAUL CACHO ALVAREZ
Febrero 13	20 a 21 h	CLAUSURA	



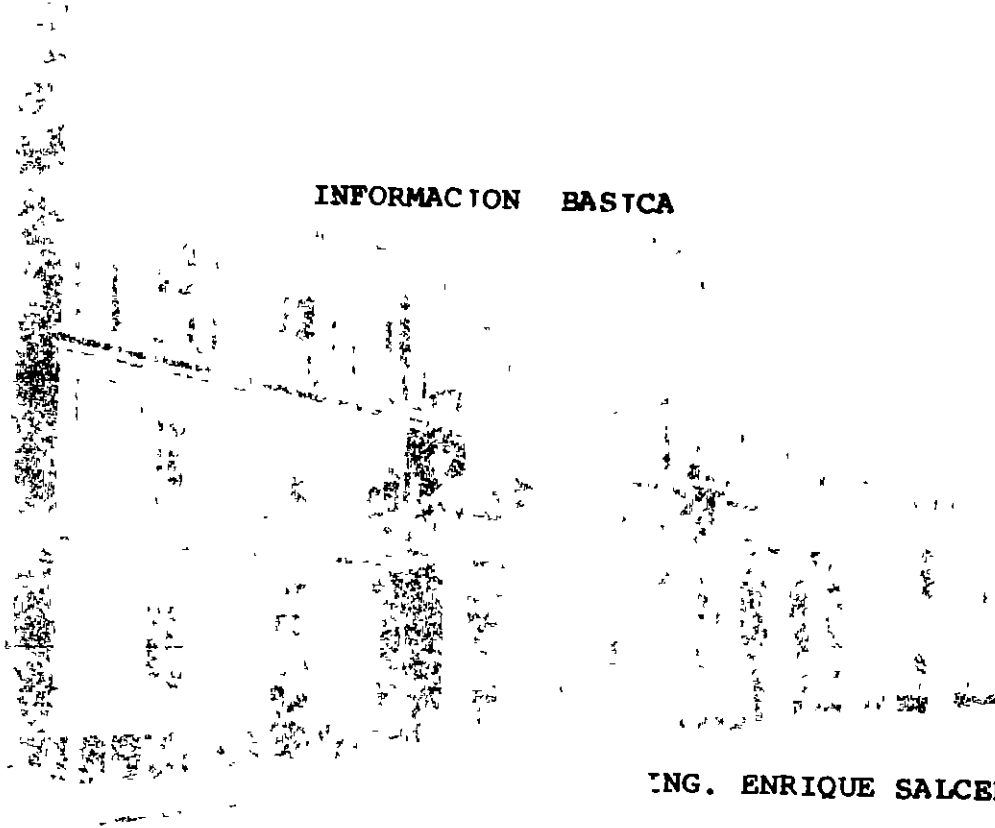


centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



## PLANIFICACION VIAI URBANA

### INFORMACION BASICA



ING. ENRIQUE SALCEDO MARTINEZ

ENERO 19 DE 1976

PALACIO DE MINERIA  
Tacuba 5, primer piso México 1, D F.  
TELEFONOS 513-27 95  
512-31 23 521 73 35



# PLANIFICACION VIAL URBANA

## INFORMACION BASICA

ING. ENRIQUE SALCEDO MARTINEZ

### INDICE

1. - Introducción	1
2. - Características físicas	3
3. - Uso de la tierra	4
4. - Zonificación de la tierra	21
5. - Densidad y distribución de la población	25
6. - Clasificación, características operacionales y geométricas de las calles	37
7. - Transporte	74
8. - Recursos financieros	97
9. - Desarrollo de las ciudades .	103
10. - Bibliografía	118

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE  
LA U. N. A. M .

Enero de 1976

## 1. - INTRODUCCION .

La planificación es un instrumento de racionalización de políticas. Su uso, aplicación y eficacia como medio de reorientación de la política de desarrollo de un país, está determinado no sólo por la calidad técnica y el proceso de planificación y de los propios planificadores, sino principalmente por las condiciones económicas, políticas, sociales y administrativas que enmarcan el proceso de adopciones de decisiones.

Las tareas de la planificación deben ser: exámen de la evolución y de las perspectivas de la situación socioeconómica, a la definición de objetivos a corto, mediano y largo plazo del desarrollo económico y social y al análisis técnico de la coherencia entre estos diversos objetivos, así como entre ellos y la disponibilidad de recursos humanos, naturales, de capital y financieros. Otras tareas son las de desarrollar labores de promoción y asesoría destinadas a obtener que los órganos ejecutivos adopten las decisiones y lleven a cabo las acciones y actividades que permitan la realización de los planes en la práctica, así como también las labores de coordinación entre organismos y de ordenación en el tiempo para que las decisiones, acciones y actividades se ejecuten en forma oportuna. Además, se deberá de controlar la marcha de las actividades programadas y, en consecuencia, la responsabilidad de proponer y promover los reajustes o modificaciones a que deberían dar lugar las desviaciones de la realidad con respecto a lo programado. Y finalmente le compete realizar todas las actividades auxiliares y complementarias que sean necesarias en el campo técnico, administrativo, de organización y de información.

Existen tres grandes niveles o enfoques de la planificación que

son: Nacional, Regional y Urbano. Como sus nombres lo indican, la planificación nacional abarca el área de un país, la planificación regional un área mayor de una ciudad y menor de un país, y la planificación urbana abarca el área que limita una ciudad .

Para desarrollar una planificación urbana se requiere tener una información básica que sirva como base para los análisis y para proponer las soluciones más adecuadas al medio estudiado. Para obtener esta información básica se requieren llevar a cabo los siguientes estudios: demográfico, uso de la tierra, zonificación y uso futuro del suelo, estructura de la vialidad y transporte, equipamiento urbano, fraccionamientos, conjuntos habitacionales, regeneración urbana, estudios económicos de zonificación, programación arquitectónica y análisis de preinversión y legislación urbana .

Uno de los estudios de la planificación urbana es el de la estructura de la vialidad y transporte.

Para el adecuado ordenamiento del desarrollo de una ciudad, se requiere contar con un estudio integral de Vialidad y Transporte, para que las autoridades puedan decidir la prioridad en la ampliación de las líneas de transporte o la construcción de nuevas autopistas o arterias o ensanchar una calle o aprobar un determinado uso del suelo, etc. Dicho estudio se deberá enfocar o integrar tanto la red vial de la ciudad, revisando la actual y ligándola con la futura, como la red del transporte, lo cual se traducirá en un mejor aprovechamiento del espacio vial .

Los objetivos del estudio de la estructura de la vialidad y transporte son los de determinar la política urbana actual y futura con respecto a la vialidad, en función de un sistema idóneo y flexible, integrado de acuerdo con las necesidades de la ciudad y de sus habitantes .

Para el desarrollo de este curso de la Planificación de la vivienda y transporte urbano, la información básica que se estudiará será la siguiente: Características físicas; Uso de la tierra, Zonificación; Densidad y Distribución de la Población; Clasificación, Características Operacionales y Geométricas de las Calles; Transporte; Recursos Financieros y Desarrollo de las Ciudades .

## 2. - CARACTERISTICAS FISICAS. -

Antes de poder preparar una planificación para el desarrollo urbano de una ciudad, es necesario conocer y comprender bien la estructura física de la comunidad: sus ríos, sus montañas, sus llanos, sus praderas, su clima y la dirección de sus vientos. Además es necesario investigar su geología, su hidrografía, su meteorología, su geografía y su ecología. Con los datos anteriores llegamos a comprender los tres elementos primarios de la naturaleza, sin los cuales la vida no es posible: la tierra, el agua y el aire .

La constante relación entre la tierra, el agua y el aire, es necesaria para la existencia de la vida humana. No podemos imaginar la posibilidad de controlar algunas condiciones atmosféricas, sabemos que el agua puede ser transportada desde fuentes lejanas hasta las regiones más áridas, pero la tierra siempre queda donde se la encuentra. Es posible mejorarla, se pueden secar los pantanos, se pueden mejorar o fertilizar y con agua se puede aumentar su rendimiento, pero la tierra misma tiene que tener la capacidad básica para responder a los tratamientos a que la somete el hombre y nosotros la clasificamos como buena, regular o mala, de acuerdo a su aptitud para permitir al hombre vivir sobre ella

Una parcela de tierra puede ser apta para una gran variedad de usos, la relación entre todos estos usos es el problema fundamental de la planificación. Algunos usos son favorables entre sí, mientras que otros no sólo

son en perjuicio sino hasta una amenaza. Reconociendo que la tierra puede tener muchos usos y que la relación entre ellos es la consideración más importante, la planificación debe iniciarse con una definición de los usos de la tierra y la distribución apropiada de los mismos dentro de la estructura topográfica, geológica y geográfica de una ciudad. Definidos estos puntos, el desarrollo de la ciudad debe seguir sus lineamientos y planteamientos generales.

### 3. - USO DE LA TIERRA. -

Sea cual fuere el destino de una ciudad, ó la longitud del período previsto en la preparación de los planes para su desarrollo, es obvio que el proceso de planificación debe iniciarse tomando a la ciudad tal como existe. Por consiguiente, es necesario conocer la forma en que se está usando la tierra y mantener un inventario de ésta, actualizado. Del inventario se pueden conocer las características físicas de la ciudad, pudiéndose determinar cuáles son las tierras que necesitan modificaciones y las que pueden seguir tal como están. Algunos de los usos de la tierra existentes, pueden llegar a ser la clave del control para la tendencia general del uso futuro de la misma.

Este panorama se caracteriza, además, por el hecho de que las leyes de zonificación no son retroactivas y la transición de un uso existente a una clasificación nueva, puede llevar un gran número de años.

La mayoría de las ciudades clasifican su tierra en cuatro categorías mayores: agrícola, residencial, comercial e industrial. Cada una de estas grandes categorías está subdividida en usos, que cubren desde los más perjudiciales a los menos perjudiciales, de los más a los menos restringidos, de los más concentrados a los más abiertos. Esta clasificación se denomina "de mayor a menor", cuando se le aplica en la forma indicada dentro de cada una de las cuatro grandes categorías. Así dentro de la clasificación industrial, están contenidas la industria pesada y la industria liviana, lo cual expresa

por ejemplo, la diferencia que existe entre una fábrica de calderas y un taller de hojalatería. Una gran tienda general puede clasificarse dentro del subgrupo comercial, mientras que una tienda de abarrotes pequeña, puede ubicarse en la zona comercial más ligera. En la misma forma un edificio de apartamentos de muchos pisos debe construirse en la zona residencial menos restringida, en tanto que la casa unifamiliar debe ir en el área más restringida.

El número de subgrupos que se incluyen entre el uso más intenso y el menos intenso, variará en las diferentes comunidades de acuerdo con lo que permite la complejidad de la comunidad. En una gran ciudad pueden existir hasta 15 distintas clases de uso de la tierra, mientras que en una ciudad pequeña pueden existir solo 9. Esta diferencia en el número de grupos de las clasificaciones no significa una menor exactitud en la determinación de las clasificaciones, sino que indica que la forma en que se usa la tierra en una ciudad pequeña es menos complicada que en una ciudad grande. En la práctica el número de grupos de las clasificaciones debe ser el menor posible, consistente con una consideración completa de los usos varios de la tierra y una descripción exacta de cada uno de ellos.

La ciudad debe llevar un registro al día sobre la forma en que se usa la tierra situada dentro de sus límites, así como la cantidad de espacio y de estructuras comprendidos por estos usos. Periódicamente debe realizarse un inventario de estos renglones, en la misma forma que un comercio bien organizado y bien administrado mantiene un inventario de sus mercaderías y del valor que éstas representan.

Un registro al corriente es relativamente fácil de llevar, tomando en cuenta los permisos de construcción que se conceden. También puede obtenerse información de las autoridades locales de la vivienda, que a menudo --



llevan registros sobre las condiciones físicas de las viviendas. Las instituciones bancarias y de préstamo disponen de información valiosa con frecuencia sobre las actividades de la industria de la construcción.

Pero el registro de los usos de la tierra urbana no solamente debe llevarse con el propósito de determinar la condición de la estructura física de la ciudad. Provee también la información necesaria para observar el ritmo con que la ciudad crece o decrece, para relacionar este fenómeno con las varias clasificaciones de uso de la tierra. Ofrece una buena base para medir la cantidad de tierra que debe reservarse al hacer la zonificación para el progreso futuro de la ciudad, así como la cantidad de tierra y la ubicación más apropiada para cada uno de los usos diferentes .

El inventario de uso de la tierra es parte de la buena administración urbana y el registro debe mantenerse al corriente. No es un plan, pero es parte vital de la información con que se organizan los proyectos .

a. - El Inventario de los Factores Sociales y Económicos. Si la recolección de los datos sobre la naturaleza del carácter físico de la ciudad parece un proceso complicado, la recolección de los datos sociales y económicos lo parece mucho más. El público no siente inclinación a ocultar la forma en que se está usando una parcela de tierra, salvo los casos de evasión de la ley, pero, en cambio, tiene repugnancia a divulgar su edad, sus ingresos, o su salud general, porque considera que esta información es de naturaleza exclusivamente personal. Sin embargo, para planear, para el bienestar de la comunidad, es importante tener conocimiento sobre las personas que la forman y para las cuales está destinada esa comunidad.

La fuente principal de información económica y social es el Censo. En el censo se incluyen informaciones sobre ingreso familiar, tamaño de -

las familias, arrendamiento de vivienda, condiciones de los edificios, porcentaje de edificios ocupados por sus propietarios, o por inquilinos, educación, distribución de la población por edades, distintos oficios en que se dividen los asalariados y muchas otras informaciones.

Aunque la mayor parte de los organismos locales públicos y privados recogen normalmente sólo informaciones sobre la estructura social y económica de la comunidad en la cual están directamente interesados, la oficina de planificación puede obtener y relacionar esta información especial, para formar un panorama general. Pero como los distintos organismos pueden interpretar datos similares en forma diferente, estas diferencias deben ser eliminadas por los encargados del planeamiento, usando como base los datos existentes mejor conocidos.

Resulta bien sabido que con la ayuda de las estadísticas puede demostrarse casi cualquier cosa. El corolario sería que las estadísticas no induzcan a error. Como ejemplo ilustrativo estaría el caso en que el aumento del número de las familias fuera substancialmente idéntico al número de casas nuevas construídas, lo que indicaría que no existe una escasez de viviendas. En la valorización de la oferta de viviendas en relación a la demanda, estos números puros significan poco. Para evaluar la relación entre el número de nuevas familias y la disponibilidad en materia de viviendas, habría que tomar en cuenta otros factores, como el del número de familias que se desdoblan, el costo de las nuevas casas, para ver si responden a las posibilidades de los distintos sectores económicos, el desarrollo del porcentaje normal de viviendas vacías y el porcentaje de casos en condiciones poco adecuadas que hay disponibles.

Entre las muchas informaciones que la Comisión de Planificación debe necesariamente relacionar entre sí, se cuentan las referentes a la

tasa de mortalidad, la tasa de nacimientos, la mortalidad infantil, la tasa de los casamientos y divorcios, la inmigración y emigración populares, los cursos escolares cumplidos por los habitantes, la distribución de la masa obrera y las inclinaciones culturales de la población .

Las cámaras de comercio locales suelen disponer de la información adecuada referente al desarrollo económico de la comunidad y sus perspectivas y de las industrias locales, se pueden determinar las tendencias de la industrialización y las variaciones de la mano de obra. Las tendencias que sigue la población industrial, tendrán efectos decisivos sobre el proceso de planificación. Los datos sobre la capacidad económica, el promedio de años de empleo, la estructura del sistema de seguridad social; los tipos y la diversificación de los trabajos y la composición de los distintos grupos económicos representados en la población obrera, son imprescindibles para calcular el poder adquisitivo de la comunidad y sus posibilidades para el pago de impuesto y renta. Todas estas estadísticas son importantes como bases para la preparación del Plan Director para el desarrollo de una ciudad .

b. - Variación del Carácter de la Ciudad. - Con la recopilación de datos anteriormente sugeridos, que es la parte del proceso de planificación identificado como la investigación, llegamos a conocer la naturaleza de la ciudad tal cual existe. Este es el conocimiento que necesitamos para analizar a la ciudad, y de este conocimiento podemos determinar por qué se fundó la ciudad, cómo creció y por qué prosperó .

Hay razones por las cuales las ciudades están donde están. Fueron razones importantes en la historia de la ciudad y tienen influencia sobre su futuro. Estas razones tienen importancia porque pueden determinar la tendencia continua del desarrollo urbano y porque pueden revelar los cambios

que ha sufrido la ciudad, indicando en esta forma las nuevas direcciones, siguiendo las cuales debe planearse la nueva ciudad. Las razones que llevaron a fundar una ciudad pueden seguir subsistiendo, pueden haberse multiplicado, o pueden haberse desvanecido. Puede ocurrir que una ciudad tenga en la actualidad objetivos totalmente distintos de los que llevaron a su fundación original.

La dormida aldea del siglo XVIII tiene, en apariencia, poco en común con la metrópoli moderna. Pueden quedar rastros de su origen histórico, pero las funciones urbanas pueden haberse modificado completamente. A medida que la ciudad creció en tamaño, aumentó su población y desarrolló nuevas actividades, el carácter de la ciudad puede haberse modificado. Tal vez la realidad del ambiente comunal se haya deteriorado al crecer la ciudad, desde la pequeña aldea íntima y amistosa a la máquina metropolitana actual, fría y poco cordial. Es posible que en este proceso mucho se haya perdido, hasta el punto que cabe dudar que la ciudad moderna pueda recuperar los valores humanos que sirven para medir los niveles de la vida del pueblo.

Los cambios en el carácter urbano se han reflejado en el crecimiento y la deterioración de la vida vecinal en todas nuestras ciudades. En una metrópoli en proceso de gran crecimiento, como Los Angeles, esto resulta más evidente que en otras partes. Apenas hace 20 años, esta comunidad tenía reputación por su clima, las diversiones que ofrecía, sus playas y la grandeza de sus montañas. La alta calidad de su medio ambiente urbano y la belleza de su clima hicieron de esta ciudad un paraíso para los viajeros de todo el mundo.

La población de Los Angeles, que en 1920 era de 500,000 habitantes, en 1945 era de 1 805 000, habiéndose extendido la ciudad sobre una superficie de 452 millas cuadradas, no muy densamente pobladas. Desde el comienzo, como centro de una zona predominantemente agrícola, Los Ange-

les desarrolló una importante economía industrial. Así las plantas industriales fueron surgiendo con poco o ninguna atención sobre el efecto que podrían llegar a tener sobre las condiciones de vida de la región y sus habitantes. Para proveer de agua a la creciente población, hubo de recurrir a fuentes situadas a más de 400 km de distancia. La congestión alcanzó a la ciudad, conocida antes por sus espacios abiertos; los barrios miserables y los tugurios están empezando a ser un problema y el humo y las fábricas llenan de impurezas su aire.

Esta historia tan solo difiere en cuanto a detalles y al grado con la historia de todas nuestras ciudades restantes. Es la historia de la metrópoli moderna. Las ventajas nativas de nuestras comunidades urbanas no han sido respetadas por la gente que tuvo a su cargo su construcción. En el nombre de una ciudad más grande y más próspera, estas ventajas han sido olvidadas y el público empieza a abandonar la ciudad. Los habitantes urbanos se desplazan hacia las afueras de su ciudad, pero la misma indiferencia que presidió el desarrollo de la ciudad, está guiando el desarrollo de los suburbios. En vez de capitalizar las características originarias de una región, la explotación de la comunidad urbana está minando sus propias inversiones

Así el Plan Director de una ciudad, o de una región, debe encaminarse hacia un doble objetivo: impedir que las zonas todavía no desarrolladas de la ciudad deriven hacia el caos y lograr la reconstrucción gradual de los sectores construidos de la ciudad, tomando especialmente en cuenta las secciones en decadencia y la circulación del tránsito. El desarrollo caótico actual de la ciudad es una tendencia que puede ser corregida y rectificada para beneficio de toda la población, una vez que todas las ventajas nativas se exploten en forma adecuada mediante el planeamiento.

La naturaleza variable de la ciudad debe determinarse y su carácter natural definirse. Los desplazamientos en el énfasis de la economía urbana, de los servicios y funciones, requieren reajustes en los hábitos de la vida de la población, en los usos de la tierra y en los sistemas de transporte, si se quiere mantenerlos como factores, favorables del ambiente en que vivimos y trabajamos. El Plan Director debe reflejar estos ajustes y convertirse así en una guía para el crecimiento y el progreso futuros de la comunidad. Esto exige investigar todos los aspectos de la vida urbana, lo cual exige coordinación de las actividades de un grupo de técnicos bien adiestrados y el apoyo de la ciudadanía, entusiasta y de visión clara .

c. - El Plan es una Obra de Conjunto. El conocimiento de la estructura física de la ciudad revelará la existencia de ciertos usos naturales para la tierra, así como la presencia de algunos usos ya existentes que merecen consideración especial en el plan. Es posible que existan industrias perfectamente establecidas, centros comerciales y barrios residenciales consolidados, grandes parques, vías de agua, ferrocarriles y monumentos históricos y naturales que deben preservarse. Este conocimiento debe revelar también algunos usos actuales de la tierra mal ajustados, los cuales merecen la adopción de medidas correctivas. Asimismo revelará la relación adecuada entre las zonas industrial y residencial. Con estas líneas generales amplias se inicia la preparación del Plan Director .

La ciudad está vinculada a las ciudades y poblaciones vecinas por medio de las carreteras, los ferrocarriles y otros transportes colectivos. Caminos y carreteras son las principales arterias de circulación alrededor de la ciudad y suelen formar los límites que la separan de las poblaciones vecinas. Las carreteras de tránsito rápido, los caminos y el ferrocarril,

establecen la relación entre las fuentes de trabajo en el comercio y la industria y los distritos suburbanos residenciales.

Simultáneamente con este plan general, hay que prever reservas destinadas a los espacios abiertos, tomando en cuenta aquellas zonas que se adaptan mejor para un parque natural, o las tierras áridas, que no sirven bien para desarrollar algún proyecto urbano. Completado este proceso, el Plan Director empieza a adquirir forma.

El Plan Director debe reflejar las tendencias, en cuanto a densidad de población, que resulten más adecuadas y consistentes con el carácter de las zonas residenciales de la ciudad e indicará, además, las normas para establecer la relación entre la superficie edificada y la superficie libre en las zonas residenciales y en los distritos comerciales. Dentro de este plan amplio de uso de la tierra y siguiendo las normas seleccionadas para guiar el criterio de los planificadores, se pueden luego refinar proyectos más detallados para los distintos sectores de la ciudad, llegado el momento de actuar. Se puede determinar el mejor sitio para erigir las escuelas y los parques de juegos para los niños, pudiéndose determinar las exigencias que se impondrán a los centros comerciales locales. Se puede reservar sitio para las carreteras y calles de tránsito ligero. Se pueden formular planos detallados para mejorar los centros comerciales en el corazón de la ciudad y para la reconstrucción de las zonas venidas a menos en el sector céntrico urbano. El Plan Director determinará los usos apropiados a que pueden dedicarse las tierras en la ciudad, para que los inversionistas tengan una guía clara para orientar la colocación de su dinero .

Para formular un Plan Director se necesita una amplia cooperación, dado que este proyecto contiene la voluntad inspirada de las personas

decisiones a construir una ciudad bella y decente. Las decisiones que se fijan en este plan surgen del trabajo coordinado de sociólogos y economistas, técnicos de estadística e ingenieros, asesores financieros y abogados, políticos y arquitectos, funcionarios de salubridad pública y empleados municipales, comerciantes altruistas y consumidores. Para completar la labor se necesita un entusiasmo sin límites, un interés cívico persistente, un grupo de técnicos bien adiestrados, a cuyo cargo corre la labor de la coordinación y de la redacción del proyecto.

El Plan Director reúne las ideas de estas personas, que han trabajado en equipo, para formar una ciudad que responda al objetivo común, una ciudad en la cual el progreso avanza ordenadamente a medida que la ciudad crece, prospera y se expande. El Plan consiste de dos proyectos generales: el Plan para el uso de la Tierra y el Plan de Circulación.

d. - El Plan Para el Uso de la Tierra. Este plan designa las áreas de la ciudad mejor adaptadas para el desarrollo de los varios usos de la tierra urbana: residencial, industrial y espacios abiertos. Fija las restricciones en cuanto a la densidad del uso de la tierra, en términos de densidad de población, o de densidad de edificación. Especifica dónde se puede construir viviendas múltiples y donde viviendas unifamiliares. Define las zonas a ser reservadas para sitios de recreo, para agricultura y para futuras reservas.

Este plan establece la ubicación de las unidades vecinales con todas sus instalaciones. Es el plan en el cual se establecen las normas que guiarán a los constructores de la ciudad en sus distintas empresas, siendo el plan algo más que un mero mapa de la ciudad, pues contendrá la recopilación de todos los datos utilizados en los cálculos referentes a las



distintas zonas y en la preparación de las normas. Desde este punto de vista, será una referencia para todas las personas que se dedican a trabajos urbanos. (1)

El plan, además, fija la relación entre la ciudad y la región que la rodea e indica su integración con las comunidades satélites, definiendo también las zonas que podrán subdividirse en el futuro y las normas a emplearse en esas subdivisiones. Este es el plan que forma la base de las ordenanzas de zonificación, de los proyectos para construir parques y lugares de recreo, así como de todos los trabajos para determinar la ubicación de las escuelas, de los edificios públicos, de los centros cívicos y de los centros culturales y deportivos. Este plan, además, guía a la administración municipal para proyectar nuevos servicios públicos: drenaje, gas, agua, electricidad y alumbrado público. Finalmente, este plan es la referencia que debe guiar a todos aquellos que están interesados en hacer inversiones en la ciudad.

e. - El Plan de Circulación. Este es el plan para la determinación de las carreteras y calles principales, las rutas de transporte en masa, los ferrocarriles, los aeropuertos y los canales. Define las arterias de tránsito continuo, las arterias de tránsito ligero, las calles y sus intersecciones. Registra el recorrido de trenes y omnibuses para el transporte en masa dentro de la ciudad y a sus alrededores. En este plan se integran todas las líneas de comunicación para la circulación del público, dentro de la zona urbana y en sus alrededores.

Este sistema de circulación definirá los límites de las unidades

---

(1) Este plan se representa gráficamente en su mayor parte, mediante un plano al que se le denomina plano maestro, plano regulador y plano de ordenamiento según los usos en diversos países. Entre algunos estudiantes surge la confusión entre plan, como proyecto y su representación gráfica como plano.

vocinales. Es necesario, además, determinar con precisión al sistema interno de calles, dentro de la extensión que influye sobre las arterias de tránsito ligero y las rutas de transporte en masa. El diseño interno del sistema de calles puede luego sujetarse a un examen más preciso, una vez iniciada la labor de mejoramiento urbano.

A medida que la ciudad se va desarrollando, este plan debe ser la referencia para las mejoras y la extensión del sistema de circulación. Se pueden preparar planes perfectos para las líneas ferroviarias, de pasajeros y de carga, estaciones y playas terminales, aeródromos y aeropuertos terminales y conexiones internas con helicópteros. También los puertos y las zonas portuarias pueden desarrollarse siguiendo las guías fijadas en este plan.

El plan para la circulación y el plan para el uso de la tierra, deben estar totalmente integrados, pudiendo ser rectificadas a medida que la ocasión lo exija, pero nunca es posible introducir en uno de ellos alguna mejora, que permanezca sin relación con el otro.

El plan urbano general, o Plan Director debe ser totalmente práctico y económicamente sólido, pero al mismo tiempo debe dar expresión a las demás aspiraciones del pueblo de la comunidad que no son puramente materiales. Sólo en tal caso tendrá el plan de fuerza de inspiración (además de la influencia hacia un progreso más conveniente, eficiente y económico) capaz de despertar el interés cívico en toda su fuerza, así como la devoción y la lealtad que resultan esenciales para la construcción de ciudades mejores.

El plan general urbano, o Plan Director debe, por consiguiente, estar en primer lugar bien equilibrado, presentando un proyecto general atractivo que se adapte bien a las posibles necesidades futuras. En segundo lugar debe guardar una escala adecuada con la población y las perspectivas económi

cas de la comunidad y en tercer lugar debe estar de acuerdo con los recursos económicos actuales de la ciudad y con sus perspectivas económicas futuras. Para satisfacer este criterio, es necesario realizar un esfuerzo científico y artístico, capaz de producir un plan urbano de forma atrayente, agradable, equilibrado, bien detallado y de acuerdo con las actividades económicas y sociales de la comunidad.<sup>2</sup>

Posiblemente resulte más exacto definir el Plan Director como un proceso más bien que como una declaración terminante. Es una tendencia para el desarrollo físico de la ciudad, molde que sirve de guía para que los constructores de la ciudad ubiquen sus inversiones y midan las perspectivas de éxito de las mismas. El plan es el marco físico, social, económico y político de la ciudad y suelda en una sola estructura las características sociológicas, económicas y geográficas de la comunidad.

Al sugerir que el plan es un proceso fluido, parece implicarse que en él no hay representadas decisiones. Pero aunque el plan urbano puede modificarse, a medida que las condiciones de los asuntos públicos se modifican de tiempo en tiempo, el Plan Director representa ciertas decisiones que son de vital importancia para el bienestar del pueblo y de su ciudad. Representa una decisión en cuanto al número de ciudadanos que la ciudad puede acomodar en sus viviendas, representa las normas siguiendo las cuales la ciudad se desarrollará. Representa decisiones con respecto a la relación adecuada entre los usos de la tierra y en cuanto a los destinos futuros de la misma. Determina decisiones en-

---

<sup>2</sup> Administración de Planeamiento Local (Local Planning Administration), Ladislav Segoe, Asociación Internacional de Administradores de Ciudades, Chicago. 1941.

materia de comunicaciones y respecto al sistema de circulación. Finalmente con  
tome decisiones respecto a la reserva de espacios abiertos en toda la ciudad.

Indiscutiblemente que estas son decisiones muy amplias, pero son  
esenciales para la formulación de una tendencia, de acuerdo a la cual debe cons-  
truirse la ciudad. De estas decisiones depende la solidez del futuro desarrollo ur-  
bano y ellas expresan las aspiraciones de una comunidad para fijar las metas ha-  
cia las cuales debe avanzar la ciudad.

El Plan Director representa un conjunto de ideales, de objetivos y  
ambiciones, que un pueblo apoya como norma de su bienestar cívico. Estas no  
son palabras que deban tomarse a la ligera y es lamentable que con frecuencia se  
han visto reducidas a polvo, bajo la mezcla promiscua de las ambiciones humanas.  
Y, sin embargo, son los ideales los que impulsan al hombre a trabajar en favor  
del bienestar humano, y es sobre tales esfuerzos que debe basarse una ciudad só-  
lida. Si vamos a dejar de lado los ideales al construir una ciudad, porque a menu-  
do se nos ha tachado de visionarios, habremos elegido el camino del nihilismo. Si  
las normas para construir una ciudad no se basan sobre un conjunto de ideales ur-  
banos, llegaremos a la anarquía. Por consiguiente, resulta muy oportuno destacar  
que los ideales deben ser la gufa en todas las decisiones que están representadas  
en el Plan Director.

f. - La Subdivisión de la Tierra. La tierra es nuestro recurso  
primario. Millones de años fueron formando esos pocos centímetros de suelo que  
soportan a la humanidad, La codicia y la negligencia del hombre han destruido, a  
menudo, lo que a la naturaleza le costó un tiempo infinito para completar y la histo-  
ria del descuido del hombre con la tierra, está claramente sugerido en estas pala-  
bras escritas por Walter Havighurst: (1)

---

1. - La Tierra y el Pueblo (The Land and the People), Walter Havighurst. Revista  
de la Política de la Tierra (Land Policy Review), junio de 1941 .

En 1823 un pequeño emigrante noruego llamado Cleng Peerson - viajó a pie desde Nueva York a los territorios occidentales. En Chicago dobló rumbo al Norte y durante seis días dejó la marca de sus pasos en las blancas arenas del Lago Michigan. Por la noche ponía a hervir su olla en los márgenes del lago y dormía arrullado por el murmullo del agua. Donde está hoy Milwaukee (entonces formada por tres cabañas de troncos, una de ellas vacía) encontró a un gigantón, desnudo de la cintura para arriba, que junto a una de las cabañas estaba colgando sus trampas y sus zapatos para nieve .

"¿Qué encontraré si sigo caminando hacia el Norte?", preguntó Cleng Peerson.

Salomón Juneau era un comerciante en pieles, que conocía muy bien la media luz de las grandes selvas .

"Árboles hasta el fin del mundo", replicó .

Esto era literalmente verdad. Por más de 1000 kilómetros se extendían las selvas hacia el Norte y en aquellos días seis séptimas partes de Wisconsin estaban cubiertas de bosques. Dos terceras partes de Minnesota también lo estaban, así como la península de Michigan. Las selvas empezaban más allá del Lago Superior y se extendían en dirección a la Bahía de Hudson. Sobre una extensión más grande que la de Francia, cada milla era de bosques y resonaba por todas partes el ruido del agua al correr. Cedros, abetos y pinos, una selva rica y extensa como para llenar las necesidades de una nación eternamente.

Pero trate usted ahora de encontrar esa selva...

Los leñadores fueron llegando y recorrieron esta región. Detrás de ellos llegaron los magnates de la madera y las grandes compañías. En furioso asalto fueron talando los árboles y el lema que se escuchaba en todos los grandes campamentos de leñadores: "el que llega primero se lleva lo mejor", se convir-

¿Que cómo pudieron las grandes compañías apoderarse de toda esta madera? Pues muy sencillamente, encontrando la manera de burlar a la Ley de Riquezas Minerales y Forestales, que el Congreso aprobó para proteger todas las riquezas naturales de la nación.

Después de los grandes taladores vinieron los incultos, que acabaron no sólo con los pocos árboles que quedaron, sino también con los vástagos nuevos, de manera que la madera talada no se vio reemplazada por una segunda generación de árboles. En toda esta enorme zona, las medidas de conservación forestal llegaron con 50 años de retraso.

Esto ha ocurrido en todas partes con nuestros recursos naturales. En nuestro deseo de obtener un máximo de oportunidad con un mínimo de leyes, estamos en trance de dejar a nuestros descendientes una herencia de pobreza. Con demasiada frecuencia el deseo de proteger nuestros recursos aparece cuando ya se ha completado el daño irreparable. En materia de control de la subdivisión de la tierra se ha procedido en forma igual que en la conservación del suelo. El control se ejerce sólo después que la mayor parte de la tierra urbana ha sido destrozada en pequeñas parcelas para convertir a nuestras ciudades en el sitio de desgracia que ahora conocemos a través de la experiencia. Carol Aronovici, ha dicho: "La sabiduría consiste en saber lo que se debe hacer...; la virtud consiste en hacerlo..." En materia de subdivisión de tierras, como en tantas otras oportunidades, nuestra virtud ha precedido a nuestra sabiduría, y para peor, cabe hacer notar que en muchas subdivisiones la virtud brilla por su ausencia.

En una subdivisión de tierras entran los intereses de muchas personas. Está entre éstas el propietario original, el negociante que realiza la subdivisión y vende las parcelas, el comprador en perspectiva y la comunidad misma. Ladislav Segue ha dicho:

Para el negociante en tierras la subdivisión de éstas es, en primer término, una cuestión de lucro. Su interés principal es obtener la mayor suma de dinero posible por la venta de sus tierras en el menor tiempo posible. Para la comunidad la subdivisión de tierras es una seria cuestión pública. La actividad de los negociantes en tierras conformará el futuro de la comunidad y condicionará, dentro de una medida apreciable las cualidades de las condiciones de vida y trabajo de sus habitantes. En donde estas actividades no se controlan, o se controlan en forma inadecuada, pueden además constituir una seria carga para el tesoro público, debido al costo excesivo de las mejoras públicas y del mantenimiento, del costo excesivamente elevado de operación de los servicios públicos y del mal que le significa a la comunidad la financiación de mejoras en las subdivisiones prematuras.

Una de las primeras medidas que se toman en algunos estados para controlar la subdivisión es el otorgamiento de licencias a los negociantes en tierras. Para obtener esta licencia se exigían cierto conocimiento de los principios y las prácticas de las ventas de tierras, así como un buen conocimiento de las leyes estatales y locales referentes a las subdivisiones de tierras. Tanto en las leyes locales como estatales ha sido práctica general exigir al propietario de la tierra que contrate los servicios de un ingeniero con permiso, para preparar el mapa de la subdivisión que luego debe quedar archivado. Esta medida se adoptó para asegurar la exactitud de los mapas de subdivisión y evitar que los proyectos fueran alterados una vez registrados. En los años más recientes se ha exigido con frecuencia anotar en los mapas de la subdivisión, cualquier condición peligrosa, tales como el peligro de inundación en las zonas bajas. En este caso no se ha prohibido necesariamente la venta de estas tierras bajas, pero el comprador sabe bien lo que está comprando. No obstante, en aquellos casos en

el derecho a subdividir y vender la tierra.

La subdivisión de la tierra es el método para transformar un proyecto urbano en realidad. Cuando se procede a introducir mejoras en la tierra, encuentran aplicación muchos de los elementos incluidos en el Plan Regulador. Se trazan las carreteras, se pavimentan las calles y las avenidas, se instalan drenajes, las tuberías de distribución de agua, las líneas de energía eléctrica, se construyen nuevas escuelas, se extienden los medios de transportes. El Plan Regulador urbano encuentra su aplicación al subdividirse la tierra, o pierde todo su significado. El control que la comunidad ejerce sobre las subdivisiones es el medio a través del cual se aplican los elementos del Plano Regulador.

En cuanto a los detalles de la subdivisión, son de la responsabilidad exclusiva del gobierno local de la comunidad en la cual están situadas las tierras. De acuerdo con las estipulaciones del Plan Regulador, la comisión de planeamiento local está encargada, generalmente, de tomar todas las decisiones comunales sobre estas subdivisiones, en lo que se refiere a forma y tamaño de los lotes, tamaño y longitud de las calles y de los espacios reservados para las facilidades comunales, así como de las tierras destinadas a la edificación de escuelas y de sitios de recreo.

#### 4. - ZONIFICACION DE LA TIERRA .

El crecimiento caótico de las ciudades hizo imperativa la adopción de pasos positivos para llevar algún orden a la planta urbana. Edward M. Bassett, abogado de Nueva York, le corresponde el mérito de haber elaborado el instrumento legal para controlar el uso de la tierra en las comunidades urbanas.

Bassett definió la zonificación como "el ordenamiento por distritos, que reglamentan la altura, el volumen y el uso de las construcciones, el uso de la tierra y la densidad de la población, la característica más destacada de esta medida técnica es que protege el bienestar general del pueblo, protegiendo el bie



nestar de cada ciudadano.

Si la zonificación hubiera llegado más temprano, posiblemente gran parte de las dificultades urbanas hubieran sido diferentes. Es evidente que no puede ser práctico planificar una ciudad una vez construída. Planificar implica preparar un programa antes de actuar, pero la zonificación fué un medio que se adoptó después de que las ciudades tenían ya su trazado completo y la división en zonas pudo hacer poco más que congelar la mezcla existente. No hubo en este caso la posibilidad de elegir los ingredientes antes de mezclarlos.

El urbanismo surgió primero de la necesidad de mejorar el aspecto estético del medio ambiente urbano. Luego la zonificación planteó un ejercicio estadístico. Estos movimientos fueron necesarios y valiosos, pero no mejoraron el ambiente en que vivía el pueblo, que es el verdadero objetivo del urbanismo. La vivienda popular es el principal instrumento para mejorar el ambiente en que vive el pueblo, sirve para enfocar las necesidades sociales, económicas y estéticas de la población urbana y es, en esencia, una responsabilidad política.

a. - Districtos de Zonificación. En el plan de zonificación, el uso de la tierra, la comunidad se divide en distritos dentro de los cuales se restringe el uso de la tierra a algunos usos determinados. El tamaño, la forma y la ubicación de estos distritos, reflejan los usos mayores indicados por el Plan Regulador y deben disponerse de forma tal que inviten al desarrollo natural de los vecindarios. Este Plan Regulador puede indicar que una zona es apropiada únicamente para viviendas unifamiliares, pero el plan de zonificación puede permitir dentro del límite especificado algunos usos comerciales, como ser el establecimiento de algún centro comercial, que contribuya a elevar la calidad del vecindario en la zona de referencia. También puede disponerse dentro de la zona

los planos precisos son, en realidad, refinamiento del Plan Regulador y el objeto de ellos es crear un diseño bien equilibrado de la comunidad.

a-1. - Distritos agrícolas son aquellos en que se permite el uso de la tierra con destino a empresas agrícolas económicamente posibles, debiendo la subdivisión de la tierra regirse por el tipo de explotación normal en la zona.

Entre los usos generalmente admitidos en este tipo de distrito se cuentan las granjas, las granjas avícolas, establos para la producción de leche y la cría de ganado vacuno y caballar. En estas zonas pueden admitirse algunos usos residenciales limitados, siempre y cuando las explotaciones agrícolas admitidas, no resulten perjudiciales para este último uso.

a-2. - Distritos para grandes propiedades. Esta clase de distritos se crean para dar a algunos propietarios la oportunidad de instalarse en lotes de gran tamaño. En algunas zonas suburbanas resulta conveniente permitir el desarrollo de grandes residencias, siendo para este fin que se destinan los distritos que estamos examinando. Generalmente se trata de zonas residenciales sumamente restringidas, donde el tamaño mínimo de los lotes está entre 1840 y 3680 m<sup>2</sup>.

a-3. - Distritos unifamiliares, son las zonas en que el uso de la tierra está restringido a una sola unidad de vivienda por lote. La ordenanza de zonificación establece una superficie mínima por lote en esta zona y con frecuencia específica simultáneamente un ancho mínimo para cada lote.

a-4. - Distritos para casas de apartamentos, son aquellas en que en un solo lote pueden edificarse viviendas para varias familias.

a-5. - Distritos comerciales. Estos distritos están regulados de acuerdo al tipo de empresa comercial que se desarrolla sobre la tierra, variando la zona desde los comercios más restringidos, como el negocio de abarrotes en

la esquina, o la estación de servicios y gasolinera, hasta los usos comerciales más intensos, entre los cuales se toleran algunos usos industriales, ligeros y no perjudiciales.

a-6. - Distritos industriales. Estos también varían desde los usos más restringidos para la industria liviana, en los cuales suele sólo admitirse la energía eléctrica y en donde el humo, los olores y los ruidos se controlan rígidamente, hasta las zonas para la industria pesada, en los cuales se admite cualquier tipo de empresa manufacturera, de cualquier tipo de proceso industrial, sin restricciones.

Además de estos usos prescritos en los varios distritos restringidos, hay en la ordenanza de zonificación otras disposiciones para regular el uso adecuado de la tierra:

Altura. En cada distrito hay limitaciones en cuanto a la altura que pueden alcanzar los edificios construidos en él. En las zonas residenciales restringidas, el límite de la altura es generalmente de dos pisos, mientras que en las zonas multiresidenciales de clasificación más restringida, este límite suele ser de tres o cuatro pisos. En las clasificaciones menos restringidas, la altura puede llegar a ser limitada. La limitación de la altura en término de pisos puede verse reforzada por una limitación establecida en metros, como por ejemplo, un límite de 10.5 m de altura para los edificios de tres pisos, o de 45 m para un edificio de 13 pisos. También en los distritos comerciales o industriales existen límites de altura, debiendo cuidarse que otras disposiciones similares que aparecen en otros códigos, como las exigencias estructurales o mecánicas, estén de acuerdo con la ordenanza de zonificación.

Densidad. Las disposiciones regulando la densidad de la población en los distritos residenciales, usualmente se aplica mediante el establecimiento de una superficie mínima de tierra para cada unidad de vivienda familiar que se

onstruye.

La masa del edificio. No es bastante definir en la ordenanza de zonificación la altura del edificio, debiéndose también controlar la superficie edificada por lote, para reglamentar así el volumen de la edificación. Es por eso que la ordenanza especifica el espacio que debe dejarse entre edificios, el tamaño de los patios delantero, lateral y trasero y otros espacios que deban dejarse sin edificar en caso necesario, siendo usual que todas estas distancias se aumenten a medida que aumenta la altura de los edificios. Algunas comunidades exigen que los edificios sólo cubran un porcentaje especificado de la superficie de cada lote.

b. - El Estacionamiento de Automoviles. Para lograr algún alivio en materia de congestión urbana algunas ciudades han enmendado sus ordenanzas de zonificación para exigir que en todo edificio se provea un espacio adecuado para estacionamiento de automóviles. Estas disposiciones varían en cuanto a importancia, desde el estacionamiento relativamente pequeño hasta la playa de estacionamiento extensa, que se exige para algunos comercios. También varían las disposiciones en cuanto a la ubicación de este espacio. Algunas ordenanzas exigen que el mismo esté situado dentro de los límites del lote edificado, mientras que en otros casos se permite que el estacionamiento esté en algún otro lote adyacente. Como consecuencia de la necesidad de proteger el futuro de sus distritos céntricos, son las ciudades de más de 100,000 habitantes las que se han inclinado más a establecer estas disposiciones.

##### 5. - DENSIDAD Y DISTRIBUCION DE LA POBLACION .

Hemos observado el efecto principal de la legislación urbana más importante: la zonificación. Este examen mostró una deficiencia básica, el volumen excesivo de edificación que puede erigirse sobre el espacio disponible en nuestras ciudades. Las reglamentaciones de zonificación que establecen las nor-

mas para el desarrollo urbano, permiten una congestión de la población y de la edificación que está estrangulando a las ciudades hasta la muerte. Una ciudad moderna, para poder subsistir, necesita disponer del espacio para acomodar las numerosas facilidades que debe albergar.

La congestión de población, de edificación, de los servicios de transporte y de los servicios públicos dentro de la ciudad, es evidencia clara de que las normas mínimas de zonificación son muy inadecuadas, la zonificación, tal como se practica actualmente, resulta deficiente en dos aspectos: (1) lo poco adecuado de las normas mínimas, y (2) la aplicación variable de estas normas. Resulta esencial corregir estas dos deficiencias para poder restablecer cierta estabilidad a los valores inmobiliarios y a los presupuestos municipales, restableciendo en la ciudad, al mismo tiempo, el ambiente adecuado de que carece ahora.

El equilibrio entre la libertad y el orden es la balanza delicada de la cual pende la democracia. Este equilibrio es tan necesario en la construcción de las ciudades como en cualquier otra fase de nuestra vida económica y social. Un examen de nuestro progreso urbano demuestra que no se ha logrado este equilibrio, pese a lo cual nos provee de una guía para llegar a la fórmula capaz de producir una cierta medida de equilibrio.

La superpoblación y la congestión que existen en algunas partes de la ciudad, en contraste con el desarrollo en que se encuentran otros sectores ha llamado poderosamente la atención. Esto ha hecho surgir, por ejemplo, la idea de que una casa de apartamentos es un vecino poco deseable para una vivienda unifamiliar. Este concepto está justificado cuando se observa la diferencia en las normas de densidad en estos dos tipos de vivienda. No existe razón para exigir 450 m<sup>2</sup> de superficie por unidad residencial en algunos distritos, cuando en otras zonas de la misma ciudad se permiten superficies de 22.5 m<sup>2</sup> por vivienda,

en un edificio de apartamentos.

a. - La Unidad de Medida. La medida de unidad en la sociedad es el ser humano individual, y es ésta la unidad que estamos obligados a considerar para calcular las necesidades de nuestras ciudades. Con frecuencia se supone que las necesidades de los individuos varían y si bien éste es, sin duda, el caso, ello no impide la definición de determinadas necesidades, comunes a todos, como es, por ejemplo, el mínimo de espacio indispensable. Este hecho ha sido reconocido por la legislación actual y las ordenanzas de construcción prescriben superficies mínimas para las habitaciones, alturas mínimas de los techos, espacios mínimos alrededor de los edificios (jardines laterales, traseros y delanteros) y alturas máximas para los edificios. Las personas que deseen y puedan construir excediéndose de estas normas, pueden hacerlo, pero los reglamentos actuales aceptan la teoría de las normas comunes.

El hecho de que muchas personas puedan sólo disponer de un espacio pequeño sobre la tierra, mientras otras gozan de la abundancia, no apoya la afirmación de que las necesidades humanas varían grandemente. Varían la composición y las características de la familia, así como los deseos personales, pero las variaciones hay que medirlas en términos individuales. Los niños requieren espacios amplios para sus juegos activos de recreo y para su educación, cosas que los adultos no necesitan. Las familias necesitan espacio en proporción al número de niños que comprenden, pero el tipo de descanso que necesitan las personas mayores y las actividades deportivas a que se dedican los adultos, exigen también amplios espacios por persona, por lo cual sería un error suponer que las superficies necesarias para el recreo de los adultos deban ser inferiores en amplitud por persona a los espacios requeridos por los niños. Si todos los factores positivos y negativos para medir la necesidad relativa de espacio se sumaran, es dudoso que la diferencia neta llegase a pasar del 10% de la superficie total de

la tierra urbana. Esta variación está más que absorbida por la amplia gama de gustos individuales de las personas y por el espacio psicológico para moverse, que la gente necesita y que ahora no encuentra en el ambiente urbano.

Tomando en cuenta esta libertad de elección, entre los individuos, estamos justificados en nuestra conclusión de que las necesidades esenciales de espacio en nuestras ciudades son substancialmente similares para todas las personas. Mientras que las leyes de zonificación ubican la concentración de la población cerca de los centros comercial e industrial, encontramos que una gran proporción de las personas que trabajan en estos sectores tienen familias que necesitan de las ventajas de la baja densidad de población. En la misma forma, muchas personas solteras y ancianas, que pueden adaptarse muy bien a la concentración de la población, no tienen necesidad de encontrarse, sin embargo, en las proximidades de las zonas centrales, donde existe la concentración.

Los anillos concéntricos de concentración decreciente en nuestras ciudades constituyen una paradoja. La zonificación ha adoptado este trazado y perpetúa ahora la paradoja legalizándola. Se la acepta en general por la suposición básica, falaz de que la alta densidad de población y su consecuencia (la edificación alta) son económicas. Las actuales prácticas de zonificación no toman en cuenta el equilibrio entre la concentración y la dispersión de la gente, de sus hogares o de sus talleres. La zonificación es la consecuencia directa del precio de la tierra y de las mejoras situadas sobre ella y estos factores, en vez de los valores humanos, se aceptan como unidades de medida al determinar los planes de zonificación de nuestras ciudades.

b. - La Norma Unica. Si las necesidades básicas del pueblo fueran traducidas a una norma común de densidad de población, la casa de apartamentos y la casa unifamiliar, el edificio alto y el edificio bajo, se aproximarían a una aceptabilidad igual. Se tornarían igualmente aceptables como vecinos. como

no. mas de habitación y como lugares donde vivir. Se necesita una amplia variedad de tipos de viviendas para dar satisfacción a la amplia gama de los deseos y de las necesidades de la familia en una ciudad, pero todos ellos sirven a la misma función esencial: dar albergue a la gente. Como lugares para albergar a los seres humanos, deberían compartir las normas mínimas comunes de las necesidades para vivir. Una de estas necesidades es espacio sobre la tierra y las facilidades de la ciudad sólo se pueden calcular así por referencia a la unidad común, el ser humano.

Buscamos una fórmula para el desarrollo urbano que reconozca este denominador común, fórmula que establecerá un volumen para los edificios derivado de una norma única de densidad de población aceptable para una comunidad. Esta fórmula proveería una norma única para cada tipo de uso de la tierra, en vez de las normas dobles, triples y hasta cuádruples, que se han hecho habituales en los presentes reglamentos de zonificación. Esta fórmula sería traducida en una relación constante entre la cantidad de piso cubierto y el área de tierra que ocupa el edificio.

La fórmula que deseamos es tal que, de acuerdo con ella, los edificios pueden ser altos o bajos, anchos o estrechos, mientras que el espacio cubierto que contengan sea substancialmente el mismo. Una fórmula que rechace el concepto de que pueden agregarse más personas en menos espacio mediante la sencilla fórmula de apilar piso sobre piso. De acuerdo con la fórmula que estamos buscando, cuanto más alto se pueda construir un edificio, tanto mayor debería ser el espacio abierto que lo rodeara.

c. - Fórmula. Estamos acostumbrados a la concentración ilimitada de gente permitida en los distritos de casas de apartamentos de algunas de nuestras grandes ciudades y, en consecuencia, se ha convertido en un hábito asociar la congestión de la población con el progreso normal de la ciudad.

La densidad promedio en ciudades relativamente pequeñas está en-

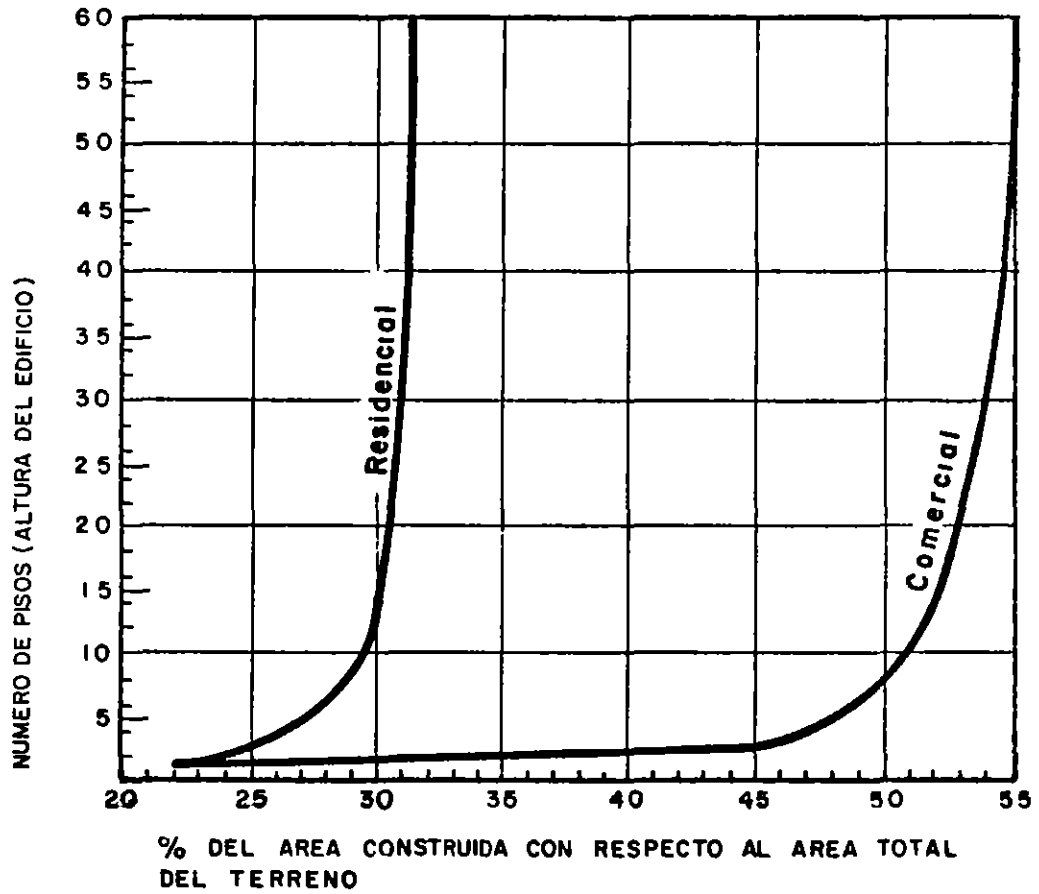


entre 30 y 37 familias por ha, incluyendo todos los tipos de vivienda, desde el edificio unifamiliar al multifamiliar en áreas residenciales .

Para los distritos comerciales suponemos una densidad de personas por hectárea como normal en cuanto a ocupación de las estructuras comerciales, pero como el tránsito de peatones es especialmente intenso a nivel del suelo en los sectores comerciales, la densidad la reducimos a poco más de la mitad de esta cifra.

Tanto en las zonas residenciales como comerciales, la Carta de Control del Espacio (figura 1) muestra una curva ascendente a medida que aumenta la altura del edificio. Esto provee de espacio cubierto adicional para la circulación horizontal y vertical y para las facilidades de servicio requeridas en los edificios altos. También da algunas ventajas a los edificios altos en la proporción entre el espacio cubierto permitido y la superficie de la tierra, dado que la efectividad del espacio abierto aumenta con la altura de los edificios. El ámbito de aumento en espacio cubierto permisible es del 10% al 15% entre los edificios de 2 y 30 o 40 pisos y esta variación no es suficiente para deformar la fórmula. Ni los servicios públicos, ni las facilidades comunales y de transporte se verían afectadas por una diferencia así .

En la aplicación de la fórmula no necesitamos ocuparnos del tipo, o la forma de estructura que un inversionista pueda elegir al construir. Las únicas condiciones que se impondrían al fomento de la propiedad sería el máximo de metros cuadrados de espacio cubierto que se permitiría sobre la propiedad, como lo indica la Carta y la reserva de patios al frente, atrás y al costado, establecido en las ordenanzas actuales. No se impondrían otras limitaciones, como la de altura, o perfil de los edificios, y la norma que regiría el fomento de la propiedad sería la proporción entre el total de la superficie cubierta en relación al total de la superficie del lote sobre el cual se origine la construcción



CARTA DE CONTROL DEL ESPACIO  
FIGURA I

## CARTA DEL CONTROL DEL ESPACIO

La gráfica ilustra la fórmula para la aplicación de una norma relativamente uniforme de densidad de población para dos de los tipos del uso de la tierra urbana: el residencial y el comercial. Se basa sobre la teoría descrita en el texto, que afirma que las normas variables empleadas en las prácticas de zonificación actuales son un instrumento ineficaz para el crecimiento urbano ordenado. La existencia de normas variables crea presiones constantes para que una zona pase de una densidad baja a una densidad más elevada. Las diferencias en las normas de densidad de población, o como se interpretan en esta fórmula, las normas de espacio cubierto admisible en relación a la superficie del lote, crean variaciones en los valores que resultan de la arbitraria decisión de que un lote puede ser usado para albergar un número de personas, mientras que otro lote vecino, de tamaño similar, puede ser usado para albergar a más personas.

La fórmula se basa también sobre la premisa de que las normas de densidad de población permitidas actualmente en varias zonas son excesivas, pero las normas que la gráfica ilustra no pretenden representar las únicas normas que podrían aplicarse, si bien se las considera muy razonables. Es esencial que las normas que se adopten para preparar una fórmula como ésta, reflejen las características locales de una comunidad. La cuestión que esta fórmula sugerida enfoca, es la necesidad de una proporción constante y razonable entre el espacio cubierto por el edificio y la tierra ocupada por este espacio cubierto.

Los cálculos para esta gráfica se han basado sobre una unidad de unos 18 metros cuadrados de espacio cubierto cerrado por persona y una densidad de población de unas 110 personas por ha en los edificios residenciales. Para las estructuras comerciales se ha usado una densidad de 375 personas por ha y una superficie de 11.25 m<sup>2</sup> por persona. Como el tránsito de peatones a nivel del suelo es generalmente superior a la densidad en los pisos que se elevan por encima

del nivel, la densidad en los distritos comerciales ha sido reducida a menos de 250 personas por ha para los edificios de un solo piso y para el piso bajo de las estructuras más elevadas. Estas densidades han sido trasladadas a una proporción entre el espacio cubierto cerrado permitido y el espacio del lote, expresándose la fórmula en términos de espacio cubierto cerrado permitido y el espacio del lote, expresándose la fórmula en términos de espacio cubierto admisible, como porcentaje de la superficie del lote. Se supone también que la superficie del lote se extiende hasta la línea central de todos los espacios públicos abiertos - permanentemente que puedan estar adyacentes al lote, como son las calles, callejones y parques.

Para compensar por el espacio cubierto aumentado requerido para la circulación horizontal y vertical, así como para los servicios, a medida que los edificios se van elevando, la proporción entre el espacio cubierto y el espacio del lote, asume la forma de una curva gradualmente ascendente. Esta curva puede ajustarse para reflejar una ventaja nominal entre el espacio cubierto en relación a la superficie del lote en los edificios muy elevados. Esta ventaja es razonable dado que el efecto del espacio libre del lote, aumenta con la altura del edificio y si la proporción del espacio cubierto aumentado se mantiene dentro de límites razonables (por ejemplo entre el 10% y el 15% de la diferencia entre alturas de dos pisos y 30 o 40 pisos), el aumento posible de la población así acomodada no basta para desequilibrar la ecuación general. Por ejemplo, la importancia del sistema de distribución de los servicios públicos, el monto de las facilidades comunales y de transporte, no se verían materialmente afectados por esta diferencia .

Además de la proporción entre el espacio cubierto y la superficie del lote que se refleja en esta carta, se requerirá espacio para el estacionamiento terminal de los vehículos. Se sugiere que el espacio para estacionar en un sec

lor residencial debe equivaler a la cuarta parte de la superficie del lote que se refleja en esta carta, se requerirá espacio para el estacionamiento terminal de los vehículos. Se sugiere que el espacio para estacionar en un sector residencial debe equivaler a la cuarta parte de la superficie total permisible edificada, con la condición de que este espacio se encuentre dentro de los límites de la propiedad ocupada por el edificio. En los sectores comerciales, la superficie provista dentro de la propiedad para estacionamiento debe ser igual a la superficie total cubierta admisible, más dos veces la superficie de la planta baja del edificio colocado sobre el terreno.

La aplicación de la fórmula puede ilustrarse por el siguiente ejemplo:

Supóngase un lote residencial con un frente de 30 metros sobre la calle y una profundidad de 51 metros, dando frente a una calle de 18 metros de ancho. Midiendo hasta la línea central de la calle se aumenta la superficie del lote  $1800 \text{ m}^2$  (30 por 60 metros). Refiriéndonos al diagrama encontramos que el espacio cubierto permisible es del 23% de un lote de este tamaño para un edificio de un piso, o sean  $414 \text{ m}^2$  para un edificio de dos pisos, el espacio cubierto admisible es del 24% de la superficie del lote, o sean  $432 \text{ m}^2$ . Un edificio de tres pisos puede tener hasta el 25% de la superficie del lote, o sean  $450 \text{ m}^2$  y un edificio de cuatro pisos, hasta el 26% de la superficie del lote, o sean  $458 \text{ m}^2$ , etc.

Suponiendo que el código de edificación establezca un jardín al frente, de 9 m, un patio trasero de 6 m y patios laterales de 1.5 m, lo que hace una superficie neta de aproximadamente  $972 \text{ m}^2$ , la superficie edificable sobre el resto del lote se limita tan sólo al espacio cubierto arriba indicado para las distintas alturas, con la condición adicional que hay que proveer un espacio para estacionamiento en un monto de  $103 \text{ m}^2$  para el edificio de un piso (la cuarta parte de la superficie cubierta), de  $108 \text{ m}^2$  para el edificio de dos pisos, de 112 metros para el

de tres pisos, 117 m<sup>2</sup> para el de cuatro pisos, etc. Este espacio de espacio permitido puede proveerse en la forma que se quiera, sea a nivel del suelo o a niveles distintos, pero debe estar situado dentro de los límites de la propiedad.

Como en la práctica se alcanzará un límite natural de altura de los edificios sobre este lote cuando el espacio por piso disminuya hasta ser de una superficie imposible de seguir trabajando, no puede aceptarse en la práctica, por ejemplo, planear la construcción de un edificio de 5 pisos dentro de una superficie de 92.9 m<sup>2</sup> por piso, que sería el espacio cubierto permisible en un edificio de esa altura sobre un lote como el que estamos considerando. No es necesario poner límites a las formas de los edificios al aplicar esta forma. Unos pisos pueden ser más amplios que otros, limitándose la restricción al total del espacio cubierto permitido para los edificios de diversas alturas que puedan construirse sobre el lote.

Podría discutirse que toda la cuestión de la densidad de población que hemos presentado es demasiado teórica y académica para su aplicación a la construcción efectiva urbana. También puede decirse que la fórmula que hemos sugerido es totalmente visionaria. Pero supongamos, por un momento, que nuestras ciudades busquen realizar un esfuerzo para curarse de la enfermedad de la congestión que sufren ahora. Es evidente que los tratamientos empleados actualmente para hacer frente a esta enfermedad sólo son paliativos. Las medidas actuales no pueden curar y los que las prescriben saben muy bien que sólo están postergando la operación inevitable.

Cuando diagnosticamos la enfermedad urbana, tenemos que retornar invariablemente a la causa básica: la excesiva densidad de población y el resultante uso intenso de la tierra. Llegamos así al remedio básico: una limitación a la relación entre el espacio cubierto por los edificios y la superficie de tierra que ellos cubren. Este es el fin perseguido supuestamente por la zonifica

ción y dentro de esa extensión nuestra fórmula no es nueva. La diferencia se presenta cuando el objetivo de la zonificación se ve opacado por el volumen excesivo de edificación que se permite sobre la tierra.

La fórmula acepta la vivienda unifamiliar así como el enorme rascacielos, pero rechaza la sobrecarga impuesta por la alta densidad y sostiene que estos excesos no son ni deseables, ni útiles, ni necesarios. Otra diferencia entre nuestra fórmula y la práctica corriente es que la primera afirma que una norma única de densidad para cada uso de la tierra especificado (residencial o comercial) puede proveer a los que construyen en nuestras ciudades con un grado de libertad consistente con los procesos de la democracia. Las normas idénticas con respecto al espacio abierto que deben permitir todos los edificios harían de los gentes buenos vecinos, aunque vivieran en edificios altos o bajos, amplios o estrechos y la norma común para el espacio abierto se convertiría en una reguladora de la armoniosa variedad de la expresión urbana, típica y deseable para un ambiente democrático. Finalmente, no basta decir que una idea es impracticable para desdenarla, porque precisamente, nuestras ciudades actuales son impracticables, es que buscamos medios y arbitrios para restaurar su equilibrio democrático.

## 6. - CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES Y GEOMÉTRICAS DE LAS CALLES .

### 1. - FINALIDADES

Con la explosión demográfica y vehicular las ciudades se van degradando paulatinamente en su habitabilidad. Se incrementan los accidentes y los congestioamientos de tránsito, la contaminación atmosférica y las enfermedades principalmente las psíquicas.

En cualquier ciudad del mundo el transporte debe solucionarse por medio del transporte colectivo y el particular, en forma equilibrada. El equilibrio depende de las características propias de cada ciudad y no es posible implantar un mismo patrón de solución entre una ciudad y otra, aún cuando presenten afinidades en muchos aspectos .

En toda ciudad la infraestructura del transporte debe contar con un sistema vial de uso general y de una infraestructura específica para el transporte colectivo .

El sistema vial deberá proporcionar al tránsito de personas y cosas la fluidez y seguridad que éste requiere y además, proveer accesos a las propiedades.

El sistema vial de las ciudades ocupa una superficie del orden del 20 por ciento del área total y sirve también para estructurar el espacio urbano .

En todos los países se ha llegado a la conclusión de que es necesario definir las funciones específicas de cada una de las calles que componen un sistema vial urbano, para optimizar el uso de las mismas

Los criterios para evaluar los servicios y proporcionar una guía para el proyecto geométrico se basan en las siguientes premisas.



a. - Es necesario establecer una red de calles, clasificadas en sistemas, con el objeto de desarrollar una estructura vial que sirva con eficiencia a varios usos del suelo, previendo un desarrollo lógico de la comunidad. Cada sistema de calles deberá servir para objetivos específicos que lo identifiquen plenamente

b. - A fin de que la función para la que se destina un sistema de calles pueda, no solo mantenerse, sino ser mejorado, estos objetivos deben influir en la selección de las normas para el proyecto geométrico y en los elementos complementarios de un sistema vial, como son los dispositivos para el control del tránsito .

c. - Con el fin de proporcionar un servicio satisfactorio los espacios disponibles para el estacionamiento (dentro y fuera de la calle), las paradas para ascenso y descenso de pasaje, carga y descarga de mercancías, etc., deben formar parte integral del sistema vial urbano

## 2. - ANTECEDENTES

En México:

La Dirección General de Planeación del Departamento del Distrito Federal cuenta actualmente con una clasificación y normas de los elementos viales que forman parte de la ciudad, de la manera siguiente:

Andador. - Elemento vial para circulación de peatones exclusivamente, sección variable .

Ciclista. - Elemento vial para circulación de bicicletas exclusivamente, sección variable de 1.20 a 3.0

**Callejón.** - Elemento vial en el cual pueden circular vehículos y peatones, pero que, para que su sección es menor al mínimo aceptable de calle, generalmente pertenece a zonas antiguas de la ciudad.

**Cerrada.** - Elemento vial con las mismas características de una calle, pero que se encuentra conectada al sistema vial solamente por uno de sus extremos.

**Calle.** - Elemento vial en el cual pueden circular vehículos y peatones con sección mínima de 12.00 m (en casos de calles existentes el mínimo aceptable es de 8.00 m) y máximo de 20.00 m conectada en sus dos extremos al sistema vial.

**Calzada.** - Elemento vial en el cual pueden circular vehículos y peatones y en algunos casos el Sistema de Transporte Colectivo (S. T. C), con separador central y separadores laterales, sin acceso controlado y que conecta puntos muy importantes de la ciudad o accesos a la misma. La sección transversal que ilustra es de 43.00 m (sin indicar si es mínima), con 3 separadores de 3 m cada uno, 4 calzadas de 7.00 m cada una y 2 aceras de 3 m cada una.

**Avenida.** - Elemento vial en el cual pueden circular vehículos y peatones, con sección mínima de 21.00 m, con separador central en caso de tener 2 sentidos de circulación, conectada al sistema vial en sus dos extremos.

**Viaducto.** - Elemento vial para circulación de vehículos, de acceso controlado, en uno o dos sentidos de circulación, con pasos a desnivel, en cruces o zonas con arterias importantes, pasos de peatones para permitir la comunicación a las mismas transversalmente a la vía, arroyos laterales para circulación de vehículos y servicio a predios y banquetas para circulación de peatones. - La sección mínima es de 64.00 m.

El suscrito considera que la clasificación y normas antes mencionadas en general, están fuera de época, considerando los avances que ha tenido la

ingeniería de Tránsito en la actualidad .

Se desconoce que existan en otra ciudad de la República Mexicana una clasificación y normas para el sistema vial.

Hay que hacer notar que el Ing. J. Antonio Malacón Díaz, Director General de Tránsito y Transportes del Estado de Sinaloa, propuso en el VI Seminario de Ingeniería de Tránsito, celebrado el año pasado en el Distrito Federal la clasificación de un sistema vial urbano de acuerdo a lo siguiente:

Sistema de vías rápidas con accesos controlados total o parcialmente. Este sistema se establece para un movimiento expedito de grandes volúmenes de tránsito entre zonas y a través de la ciudad (tránsito de paso).

No se pretende con este sistema proporcionar un servicio de acceso a las propiedades colindantes (red primaria).

Sistema de arterias principales. - Destinado al movimiento de tránsito entre zonas y a través de la ciudad y de acceso directo a los límites de la propiedad; sujeto a un control necesario de entradas y salidas y otras facilidades.

Sistema de calles colectoras. - Destinado para movimiento de tránsito entre arterias principales y calles locales y de acceso directo a los límites de las propiedades.

Sistema de calles locales. - Está destinado para un acceso directo a los límites de las propiedades colindantes y para movimientos de tránsito local.

La clasificación anterior se tomó en cuenta para este trabajo ya que se apega más a las condiciones viales que prevalecen en la actualidad en las zonas urbanas.

En Estados Unidos de Norteamérica

El Ing. Guido Radelat y el Comité Nacional del Transporte Urbano,

Vía expresa. - A la que está destinada al tránsito expreso (que recorre generalmente distancias largas sin detenerse, a mayores velocidades), con calzadas separadas, limitación total o parcial de acceso y generalmente sin cruces a nivel en las intersecciones. Si la vía expresa tiene limitación total de acceso y todos sus cruces son a distinto nivel, entonces se llama autopista .

Arterias. - Cuando están destinadas primordialmente a proporcionar un medio para la circulación del tránsito en la forma más expedita que sea posible y tienen como fin secundario el acceso a las propiedades colindantes.

Calles colectoras. - Si su objeto es recoger el tránsito de una zona urbana, conducirlo a las arterias y al mismo tiempo dar servicio a las propiedades colindantes.

Calles locales. - Las que son principalmente para proveer acceso a las propiedades.

La Asociación Americana de Carreteras Estatales Oficiales (referencia No. 5 de la bibliografía), hace la siguiente clasificación :

Autopistas, Arterias mayores, arterias menores, calles colectoras y calles locales. Las finalidades de cada una son semejantes a las anteriormente explicadas y que se detallarán más adelante, por considerar esta clasificación la más aceptable a nuestro medio.

En España:

El Dr. Ing. Antonio Valdés (referencia No.2 de la bibliografía) hace la siguiente clasificación: Autopistas, Autovías, arterias principales, calles colectoras y calles locales. También las finalidades de cada una son semejantes a las anteriormente descritas.

### 3. - CLASIFICACION .

La clasificación debe partir de la obligación de fijar una función específica a las vías, que satisfagan las necesidades de los usuarios y vehículos.

En la Fig. 1 se ilustra la clasificación de las vías en función de los movimientos y de los accesos. Se tienen:

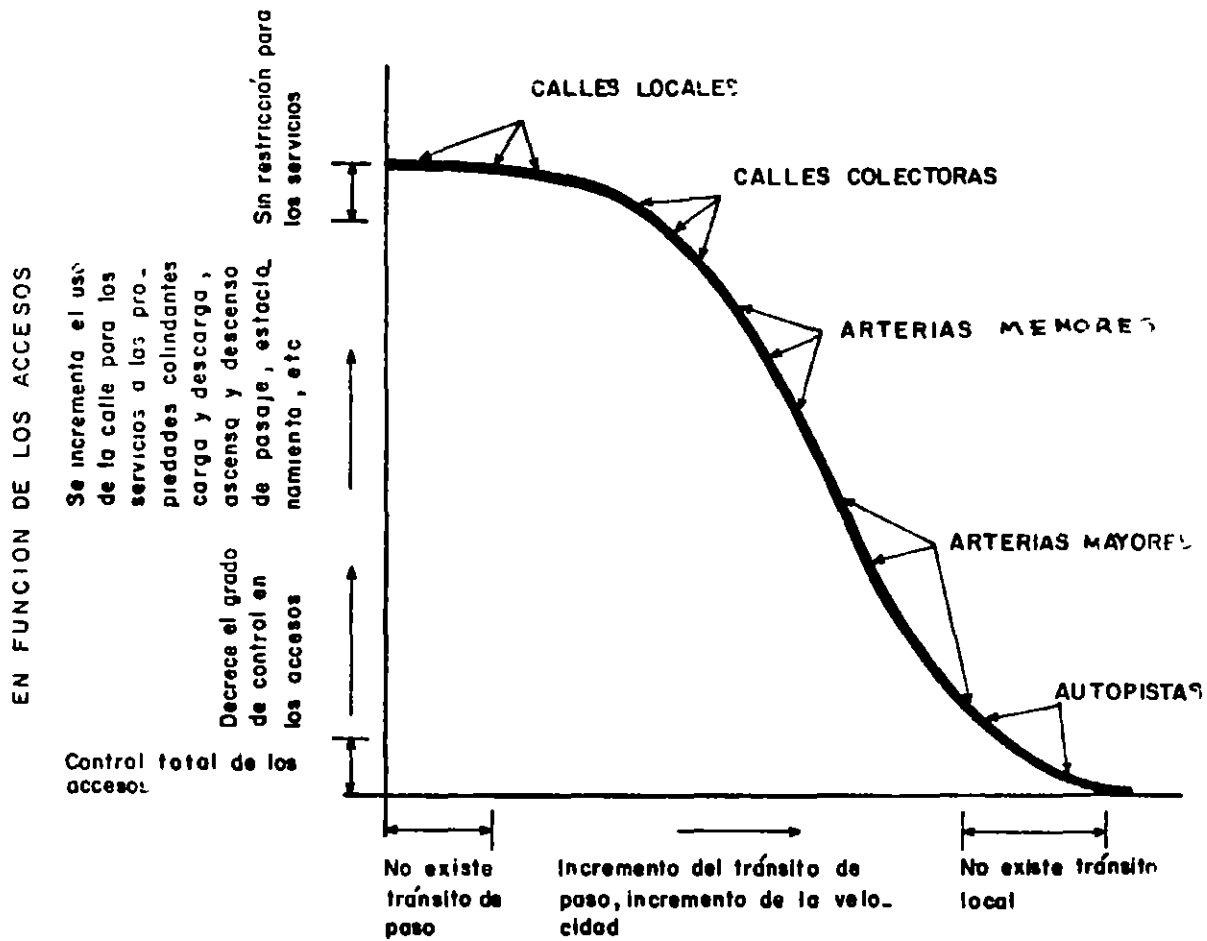
Autopista  
Arterias mayores  
Arterias menores  
Calles Colectoras  
Calles Locales .

En la figura 2 se ilustra un ejemplo de clasificación de un sistema vial urbano.

En la figura 3 se ilustra la relación entre el kilometraje de los diferentes tipos de vías y los viajes expresados en vehículos-km que circulan en un sistema vial urbano.

En la figura 4 se ilustra la relación que existe entre el tamaño de la población y los viajes expresados en vehículos-km que circulan en un sistema vial urbano .

Las normas geométricas para los diversos tipos de vías que a continuación se van a tratar, fueron investigadas por el autor, de diferentes libros que se indican en la bibliografía de esta conferencia, tomando en cuenta a aquellas que se adaptan a nuestro medio, de acuerdo con la experiencia que se tuvo al intervenir en los proyectos geométricos de las autopistas Río San Joaquín, Parque Vía y Circuito Interior y de nuevas arterias y calles, en el Distrito Federal.

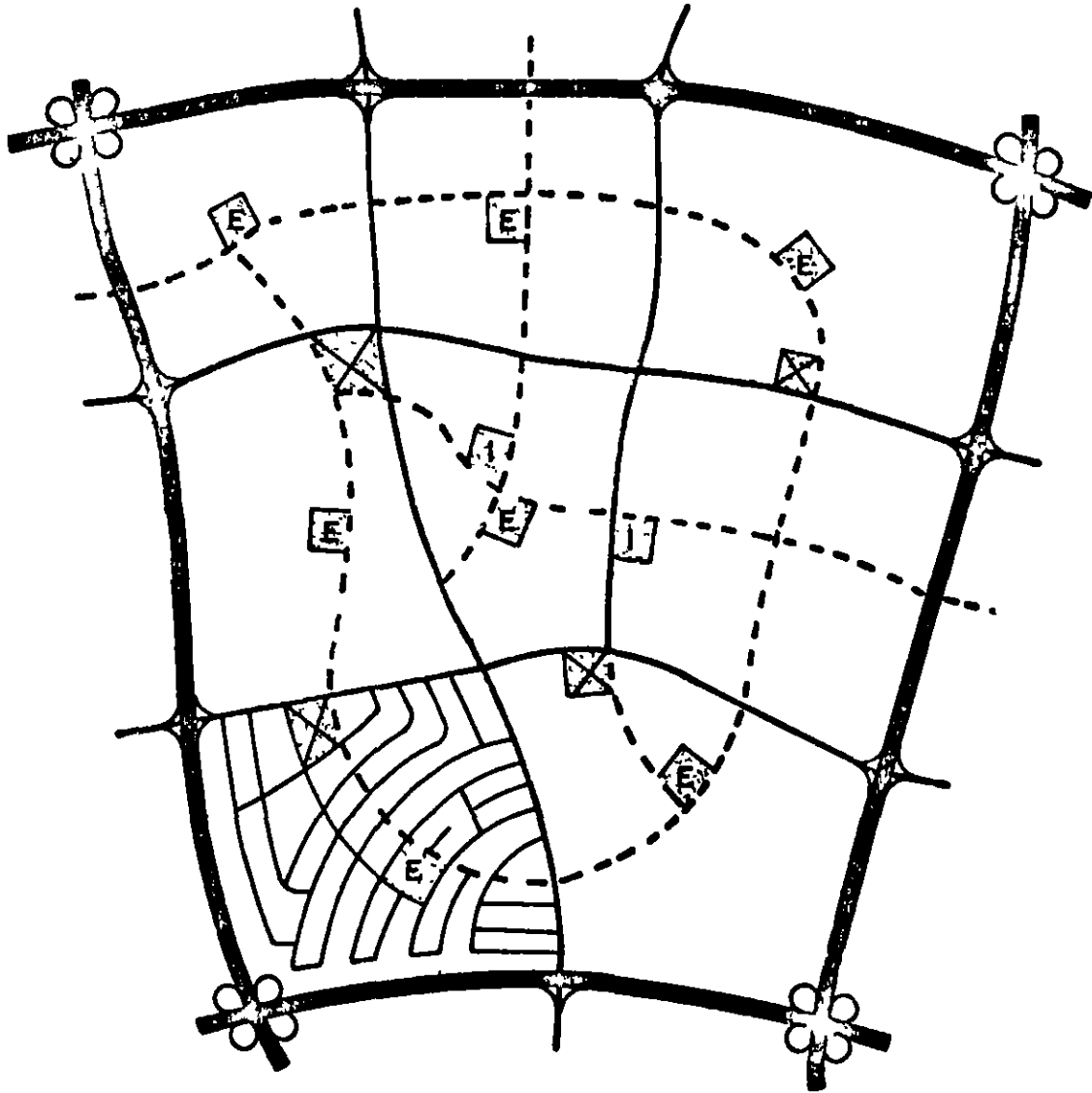





EN FUNCION DE LOS MOVIMIENTOS

# CLASIFICACION DE UN SISTEMA VIAL URBANO EN FUNCION DE LOS MOVIMIENTOS Y ACCESOS

FIGURA 1

# DISPOSICION DIAGRAMATICA DE UN SISTEMA VIAL URBANO



-  CENTRO COMERCIAL
-  ESCUELA
-  IGLESIA





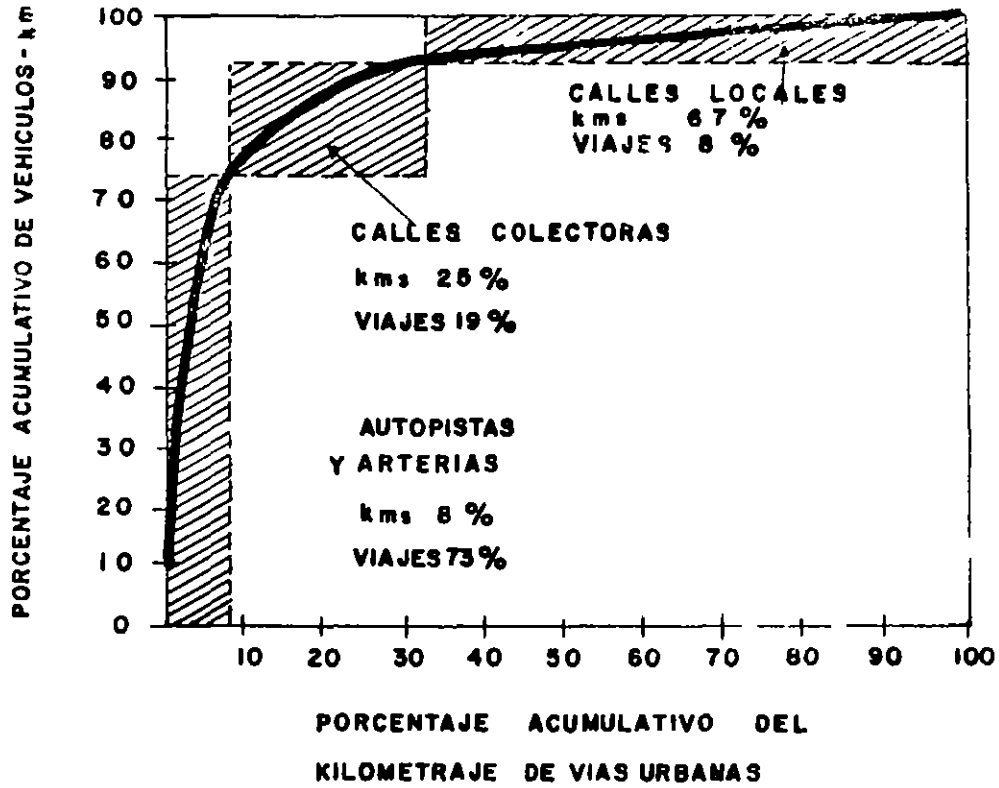
-  SISTEMA DE AUTOPISTA Y ARTERIAS MAYORES
-  SISTEMA DE ARTERIAS MENORES
-  SISTEMA DE CALLES COLECTORAS
-  SISTEMA DE CALLES LOCALES



FIGURA 2



RELACION ENTRE EL KILOMETRAJE DE LAS DIFERENTES VIAS URBANAS Y LOS VIAJES EXPRESADOS - EN VEHICULOS - km QUE CIRCULAN EN UN SISTEMA VIAL URBANO

FIGURA 3



# DISTRIBUCION DE LOS VIAJES EN VEHICULOS-Km EN RELACION A LA POBLACION DEL AREA URBANA

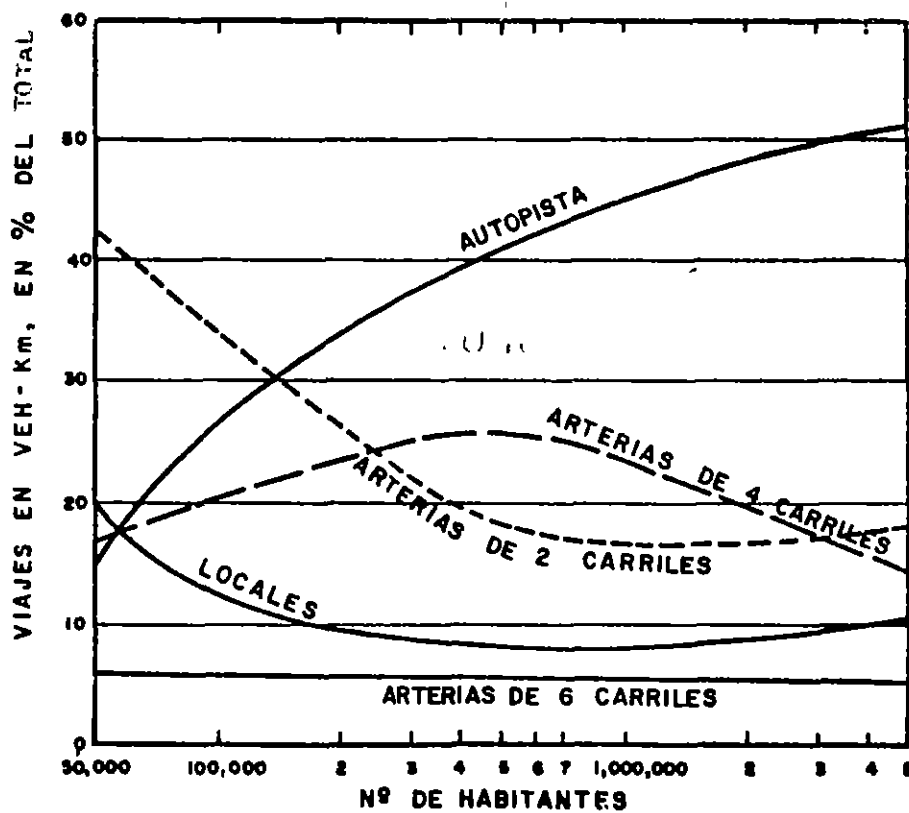


FIGURA 4

#### 4. AUTOPISTAS

Las autopistas son vías para el tránsito directo con accesos totalmente controlados. Sirven para el tránsito rápido de grandes volúmenes de tránsito cuyos orígenes y destinos son distantes .

Las entradas y salidas a y desde los carriles de alta velocidad son diseñados y espaciados convenientemente para proporcionar una diferencia mínima entre la velocidad del tránsito de la corriente principal y la velocidad del tránsito que converge ó diverge.

Las intersecciones con otras autopistas ó arterias se efectúan a desnivel y además constan de pasos a desnivel para peatones .

Las autopistas se dividen en 3 tipos: a nivel, deprimidas y elevadas ó viaductos .

Las autopistas a nivel se llaman así a aquellas cuya rasante, en su mayor parte, está prácticamente a la misma altura que las calles transversales .

Las autopistas deprimidas son aquellas cuya rasante está a un nivel inferior al de las calles transversales, a fin de que todos los cruces con éstas sean mediante pasos inferiores.

Las autopistas elevadas o viaductos son aquellas cuya rasante se encuentra a un nivel más alto que el de las calles transversales, a fin de que todos los cruces con éstas se realicen por pasos superiores. Las autopistas elevadas pueden ser apropiadas en terrenos planos en donde el espacio urbano es limitado y existen abundantes conductos subterráneos de servicio público, ó con el nivel freático elevado.

Estas autopistas elevadas son generalmente estructuras de concreto y las columnas están colocadas en tal forma que dejan gran parte del espacio que queda debajo de ellas, libre para el tránsito local o para estacionamiento.

Las ventajas de las autopistas deprimidas y elevadas son las siguientes:

Las autopistas deprimidas:

a). - No afectan la luz solar, la ventilación ni le quitan vista a las propiedades adyacentes y son más estéticas.

b). - Las rampas para las entradas y salidas quedan en pendiente y favorecen a la aceleración y desceleración respectivamente, que se desea en cada caso.

c). - Tienden a amortiguar el ruido que origina el tránsito.

Las autopistas elevadas (Viaductos):

a). - Prácticamente no afectan el sistema de calles existentes porque salvan todas las calles transversales.

b). - Requieren un derecho de vía menor .

c). - Fáciles de drenar y no representan problema para la reconstrucción de los ductos subterráneos para los servicios públicos.

Características operacionales y geométricas de las autopistas:

- |                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| 1. - Longitud recomendable            | más de 5 km.  |
| 2. - Velocidad de proyecto            | 70 - 80 km/h. |
| 3. - Velocidades de operación (km/h): |               |
| a. - En las horas de máxima demanda   | 50 km/h .     |
| b. - A otras horas                    | 55 - 80 km/h. |

4. - Número de carriles de circulación:
- a. - Centrales + 6 más
  - b. - Laterales 4 - 6
5. - Anchura de los carriles de circulación:
- a. - Centrales 3.6 m
  - b. - Laterales 3.5 m
6. - Anchura de los carriles para estacionamiento en cordón, en las calles laterales 2.5 m
7. - Anchura de la faja separadora central - (camellón central) 1.5 m ó más
8. - Anchura de las fajas separadoras laterales (camellones laterales) 6.0 m mínima
9. - Anchura de los carriles de aceleración y desceleración 3.5 m
10. - Anchura de las aceras ó banquetas 3.5 - 5.0 m
11. - Anchura del derecho de vía (mínima):
- Para autopistas a nivel ó deprimidas:(figs. 5, 5a y 5b)
- a. - Con 4 carriles centrales y 4 carriles laterales de circulación y 2 carriles para estacionamiento 54 - 55.5 m
  - b. - Con 6 carriles centrales y 4 carriles laterales de circulación y 2 carriles para estacionamiento 61 - 62.5 m
  - c. - Con 6 carriles centrales y 6 carriles laterales de circulación y 2 carriles para estacionamiento 68 - 69.5 m
  - d. - Para otros casos habrá que calcularse.
- Para autopistas elevadas (viaductos):
- a. - Con 2 sentidos de circulación: (figura 5c)
    - 35 m para 4 carriles
    - 45 m para 6 carriles
    - 50 m para 8 carriles

AUTOPISTA A NIVEL  
SECCION TRANSVERSAL

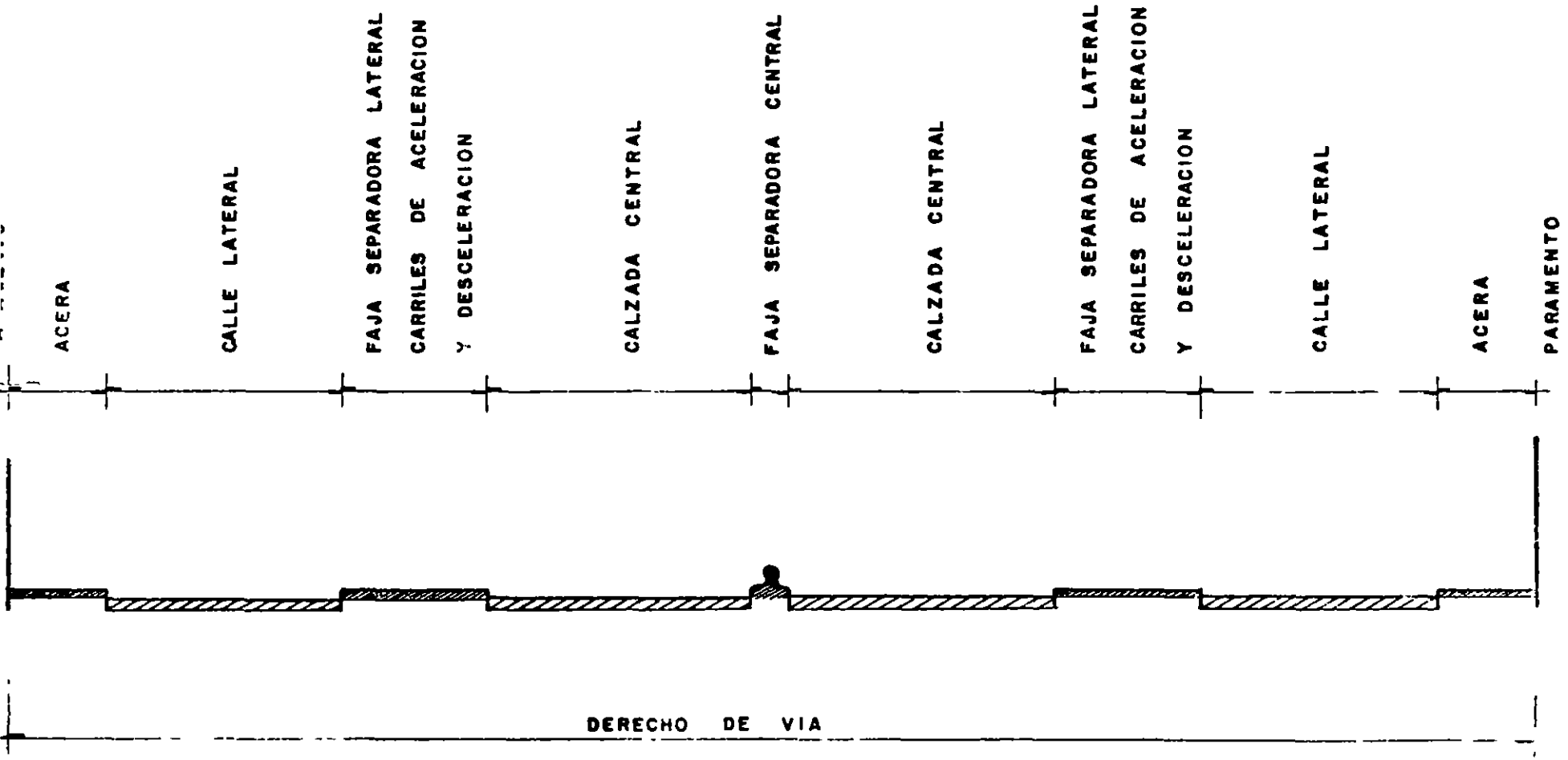


FIGURA 5

ESC 1 250

AUTOPISTAS DEPRIMIDAS  
SECCION TRANSVERSAL

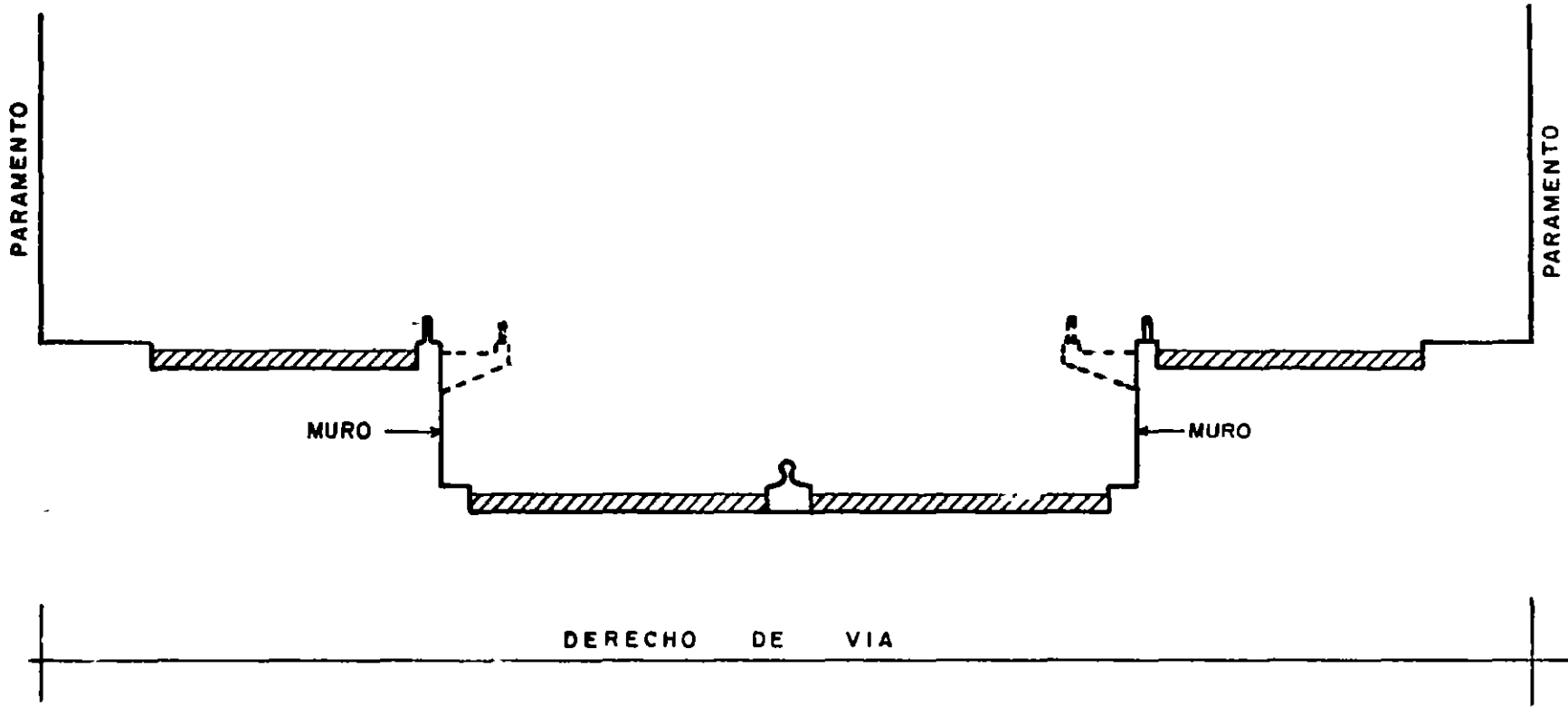


FIGURA 5a

ESCALA 1 250

AUTOPISTAS DEPRIMIDAS  
SECCION TRANSVERSAL

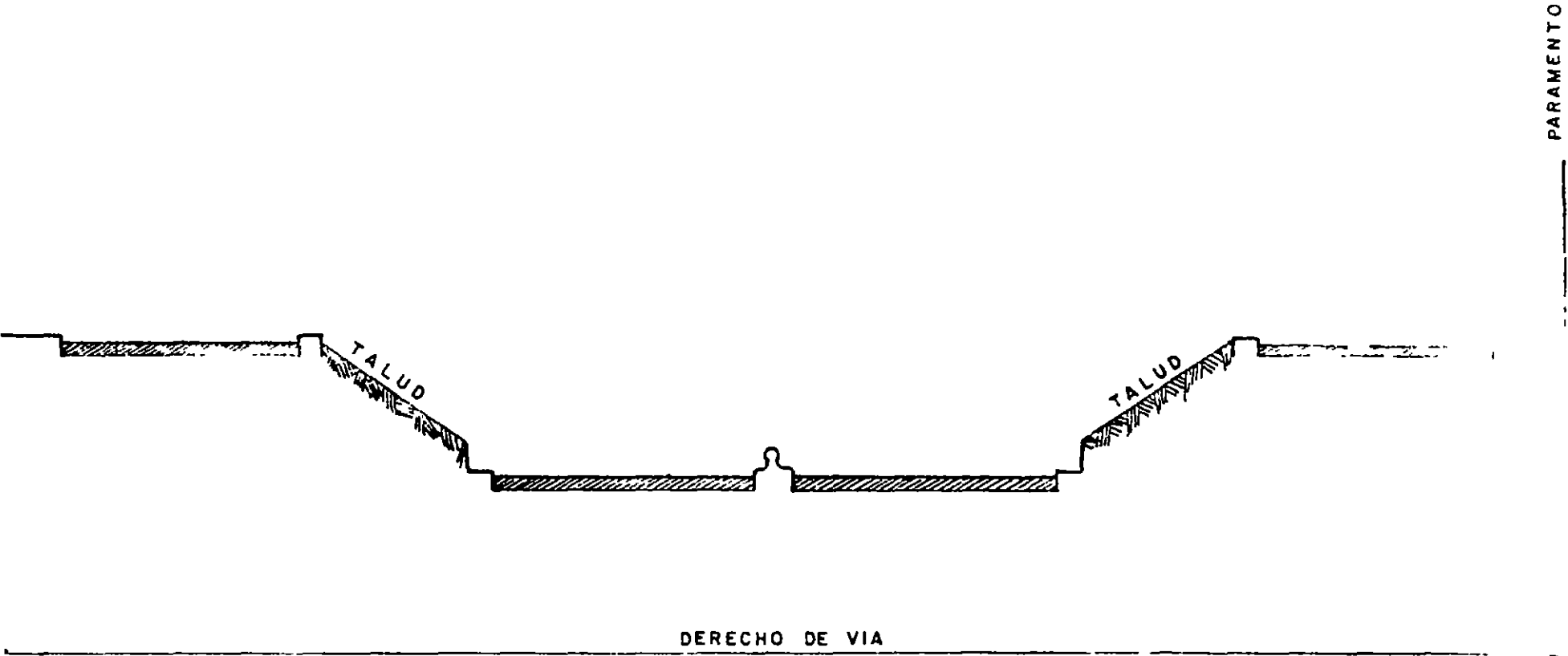


FIGURA 5E

# AUTORISTAS ELEVADAS (VIADUCTOS) SECCIONES TRANSVERSALES

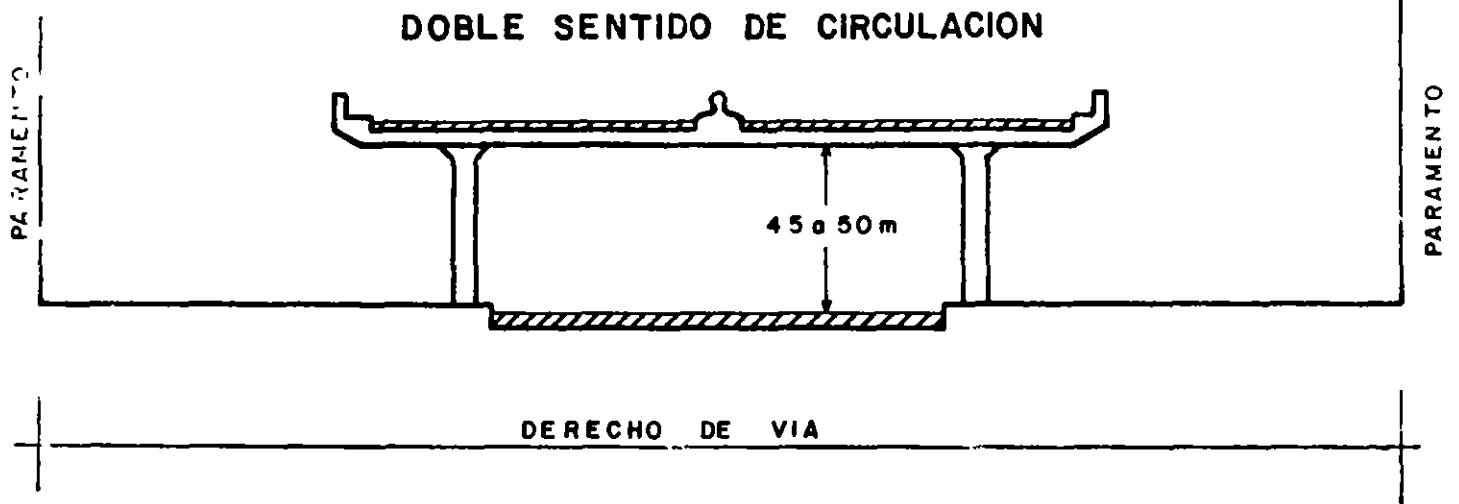


FIGURA 5c

## UN SENTIDO DE CIRCULACION

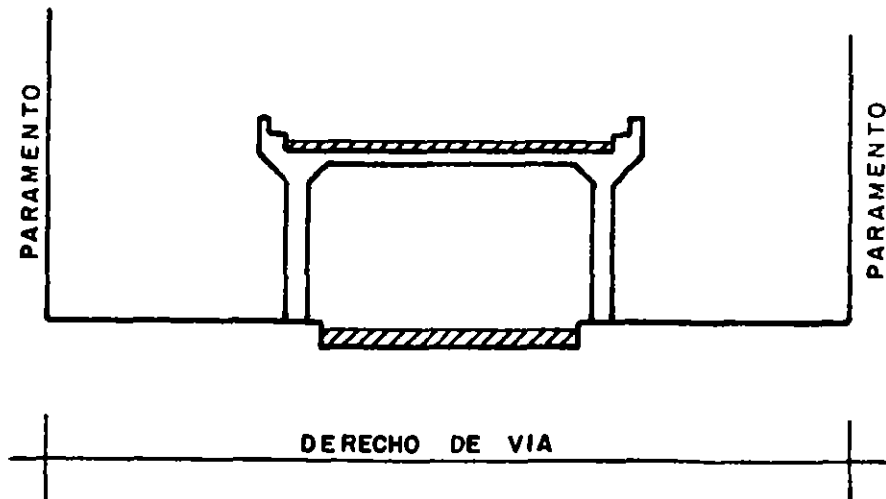


FIGURA 5d



b. - Con un sentido de circulación : (figura 5 d)

- 20 m para 2 carriles
- 25 m para 3 carriles
- 30 m para 4 carriles

En aquellos lugares donde se proyecten las rampas de entrada ó de salida, se deberá de incrementar el derecho de vía anterior .

12. - Pendiente longitudinal máxima:

- a. - En tramos largos 4% (longitud máxima 550 m )
- b. - En tramos cortos (pasos a desnivel) 5% - 6%
- c. - En gasas de intersecciones a desnivel 6%, en casos especiales 7% en subida y 8% en bajada.

13. - Radios mínimos en las esquinas de las calles laterales, con las calles transversales :

- a. - Porcentaje mínimo de vehículos pesados - que dan vuelta 4.5 - 7.5 m
- b. - Porcentaje elevado de vehículos pesados - que dan vuelta 9.0 - 15.0 m

14. - Separación entre autopistas ó entre autopistas y arterias mayores 1.6 km

15. - Espaciamiento de las intersecciones a desnivel :  
Las intersecciones a desnivel de las autopistas se recomen-

da que estén espaciadas de la manera siguiente:

Area de la ciudad.	Espaciamiento de las Intersecciones a desnivel; en m
Centro Comercial	800
Perimetral al centro	800 a 1600
Comercial	1600 a 3200
Suburbanas	más de 3200
Rurales	

## 5. - ARTERIAS MAYORES:

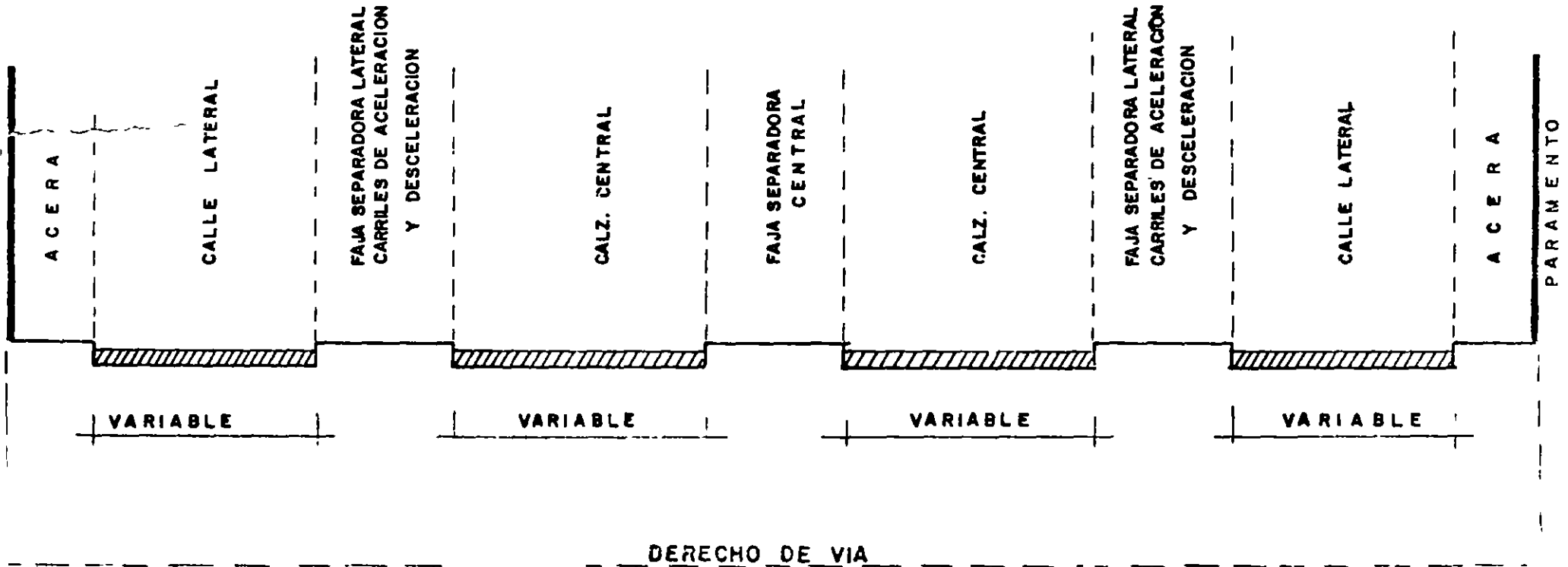
En las arterias mayores los accesos pueden ser controlados total o parcialmente. Las intersecciones con otras arterias ó calles pueden ser a nivel controladas con semáforos o a desnivel. Generalmente, las condiciones de la discontinuidad en la fluidez del tránsito, es causada por las intersecciones a nivel frecuentes, pero con una buena coordinación en los semáforos, las velocidades desarrolladas pueden ser elevadas. Deben de estar previstas para que circulen grandes volúmenes de tránsito a través de distancias relativamente grandes y proporcionar accesos a las propiedades por medio de las calles laterales. Las arterias mayores podrán convertirse con el tiempo en autopistas, de manera parcial o total.

### Características operacionales y geométricas de las arterias mayores.

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. - Longitud recomendable  | más de 5 km  |
| 2. - Velocidad de proyecto  | 70 - 80 km/h |
| 3. - Velocidades de operación (con semáforos sincronizados y en luz verde):         |              |
| a. - En las horas de máxima demanda   | 50 km/h      |
| b. - A otras horas  | 55 - 80 km/h |
| 4. - Número de carriles de circulación :  |              |
| a. - Centrales  | 4 ó más      |
| b. - Laterales  | 4 - 6        |
| 5. - Anchura de los carriles de circulación :                                       |              |
| a. - Centrales  | 3 ó 6 m.     |
| b. - Laterales  | 3.5 m        |
| 6. - Anchura de los carriles para estacionamiento en cordón en las calles laterales | 2.5 m.       |

# ARTERIAS MAYORES

## SECCION TRANSVERSAL



ESC 1 250

FIGURA -6

7. - Anchura de la faja separadora central -  
(camellón central) 6.0 - 10.0 m
8. - Anchura de las fajas separadoras lateral  
les (camellones laterales) 6.0 - 10.0 m
9. - Anchura de los carriles de aceleración-  
y desceleración 3.5 m
10. - Anchura de los carriles de vuelta izq. 3.3 - 3.5 m
11. - Anchura de las aceras ó banquetas 3.5 - 5.0 m
12. - Anchura del derecho de vía (mínima)
  - a. - Con 4 carriles centrales y 4 carriles  
laterales de circulación y 2 carriles  
para estacionamiento 58.4 - 73.4 m
  - b. - Con 6 carriles centrales y 4 carriles  
laterales de circulación y 2 carriles  
para estacionamiento 65.6 - 80.6 m
  - c. - Con 6 carriles centrales y 6 carriles  
laterales de circulación y 2 carriles  
para estacionamiento 72.6 - 87.6 m
  - d. - Para otros casos, habrá de calcularse.
13. - Pendiente longitudinal máxima :
  - a. - En tramos largos 4% (longitud máxim  
a 550 m)
  - b. - En tramos cortos (pasos a desnivel) 5 - 6%
  - c. - En gazas de intersecciones a desnivel 6%, en casos especi  
ales 7% en -  
subida y 8% en  
bajada.
14. - Radios mínimos en las esquinas de las cal  
les laterales con las calles transversales:
  - a. - Porcentaje mínimo de vehículos pesad  
os que dan vuelta 4.5 - 7.5 m
  - b. - Porcentaje elevado de vehículos pesad  
os que dan vuelta 9.0 - 15.0 m



RELACION ENTRE LA DEMANDA DE VIAJES EN LAS  
ARTERIAS, VOLUMENES DE TRANSITO Y EL ESPACIAMIENTO  
ENTRE LAS ARTERIAS

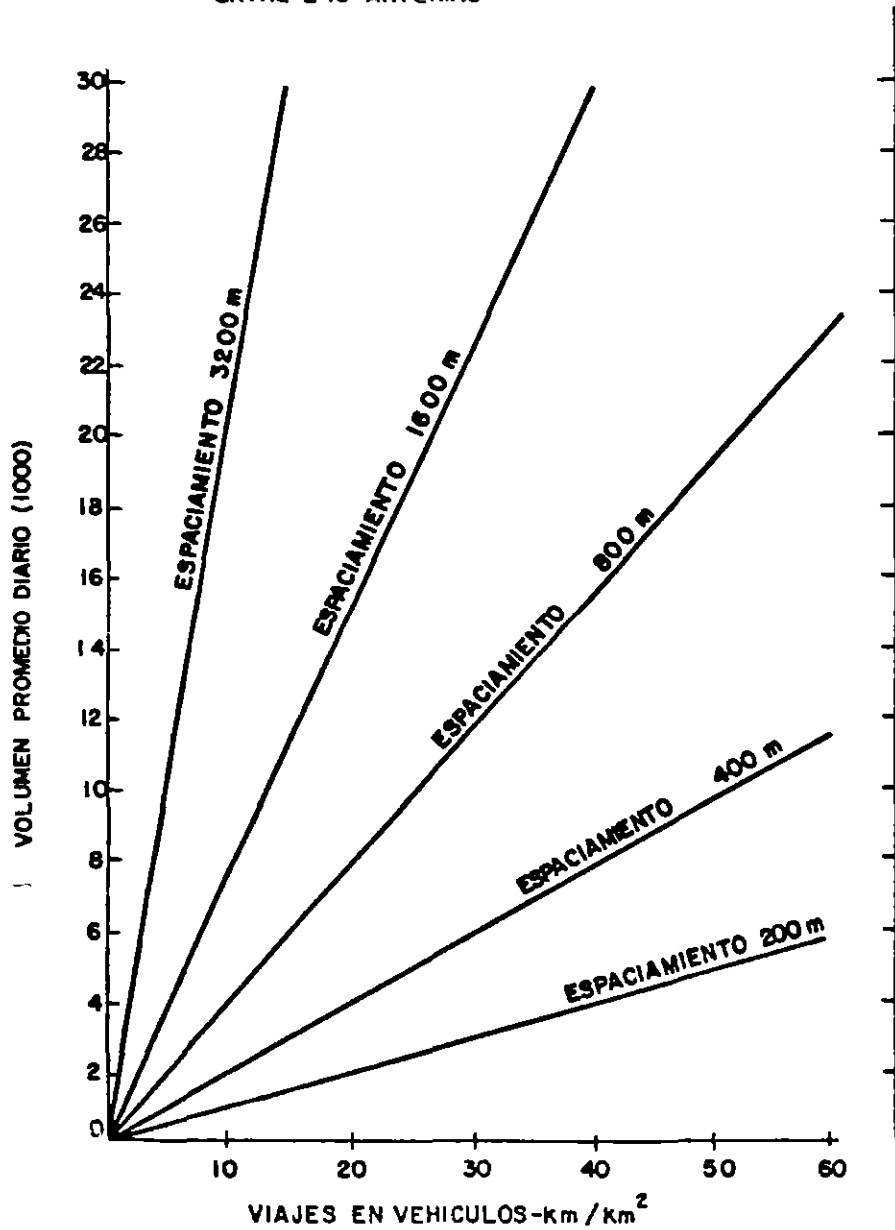


FIGURA 7

ESPACIAMIENTO MÍNIMO TEÓRICO ENTRE ARTERIAS  
REQUERIDO PARA SATISFACER LA DEMANDA DE  
VIAJES EN LAS MISMAS

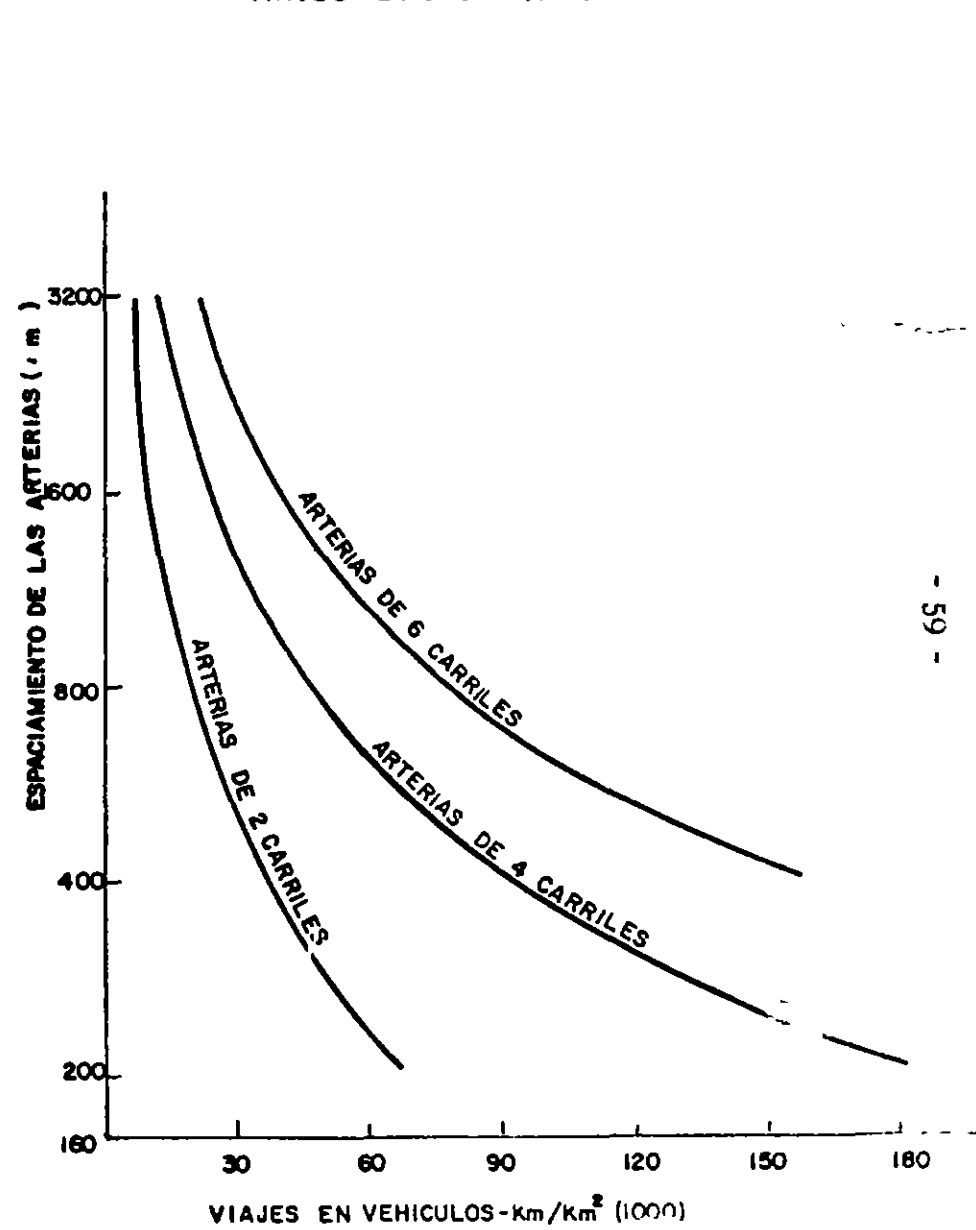
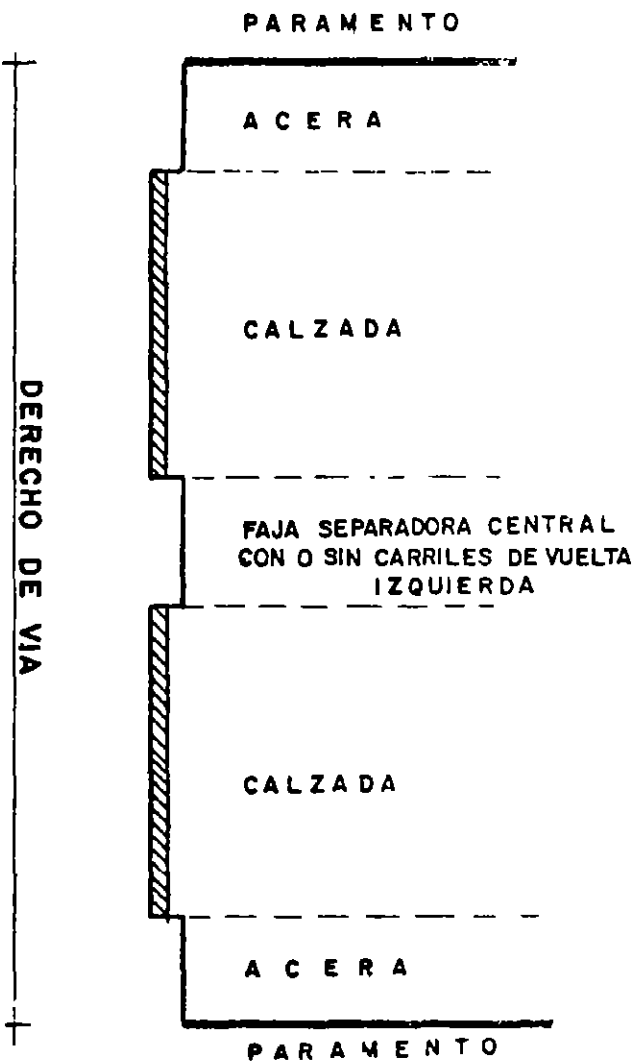


FIGURA 8

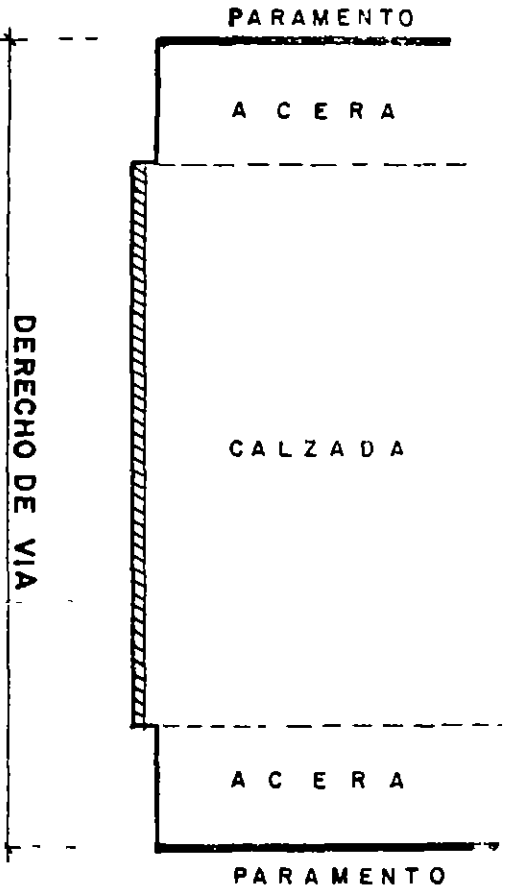
# A R T E R I A S

## SECCION TRANSVERSAL

### CON FAJA SEPARADORA CENTRAL



### SIN FAJA SEPARADORA CENTRAL



- |   |                    |
|---|--------------------|
| 2. - Velocidad de proyecto  | 50 - 60 km/h       |
| 3. - Velocidad de operación:  |                    |
| a. - En las horas de máxima demanda   | 40 km/h            |
| b. - A otras horas  | 40 - 60 km/h       |
| 4. - Número de carriles, en un sentido de tránsito (sin incluir carriles para est.) | 3 - 5              |
| 5. - Anchura de los carriles de circulación:  |                    |
| a. - Carriles derechos  | 3.6 m              |
| b. - Demás carriles   | 3.3 m              |
| 6. - Anchura de los carriles de estacionamiento                                     | 2.5 m              |
| 7. - Anchura de la faja separadora central (camellón central), física ó pintada:    |                    |
| a. - Sin carriles de vuelta izquierda   | 2.0 a menos de 5 m |
| b. - Con carriles de vuelta izquierda   | 5.0 ó más          |
| 8. - Anchura de los carriles de vuelta izq.   | 3.0 - 3.5 m        |
| 9. - Anchura de las aceras ó banquetas  | 3.5 - 5.0 m        |



10. - Anchura mínima del derecho de vía (m) :

C o n d i c i o n e s	Carriles de circulación (l sentido)		
	3	4	5
	Anchura en metros		
a. - Un sentido de tránsito, sin estacionamiento lateral.	17.2 - 20.2	20.5 - 23.5	23.8 - 26.8
b. - Un sentido de tránsito, estacionamiento lateral en un sólo lado	19.7 - 22.7	23.0 - 26.0	26.3 - 29.3
c. - Un sentido de tránsito, estacionamiento lateral en ambos lados	22.2 - 25.2	25.5 - 28.5	28.8 - 31.8
d. - Doble sentido de tránsito, c/camellón central - de 2.0 - 5.0 m, físico ó pintado, s/est. lateral	29.4 - 35.4	36.0 - 42.0	-
e. - Doble sentido de tránsito, c/camellón central - de 2.0 - 5.0 m, físico ó pintado, con estacionamiento lateral en ambos lados	34.4 - 40.4	41.0 - 47.0	-
f. - Doble sentido de tránsito, c/camellón central - de 5 m ó más, físico s/est. lateral .	32.4 ó más	39.0 ó más	-
g. - Doble sentido de tránsito, c/camellón central - de 5 m ó más, físico c/est. lateral	37.4 ó más	44.0 ó más	-

ii. - Pendiente longitudinal máxima:

- a. - En tramos largos 5% (longitud máxima 400 m)
- b. - En tramos cortos 6 - 7%

12. - Radios mínimos en las esquinas de las intersecciones 4.5 - 7.5 m

13. - Espaciamiento entre arterias

El espaciamiento adecuado entre arterias será aquel en que se pueda mantener un flujo progresivo del tránsito. La tabla I indica las velocidades máximas que se pueden desarrollar de acuerdo con los tiempos de los ciclos y los espaciamientos entre los cruces controlados con semáforos:

T A B L A I

Tiempo del ciclo en segundos .	Espaciamiento de los cruces controlados con semáforos			
	200 m	400 m	800 m	1600 m
	Velocidades máximas en km/h			
60	25	50	—	—
90	15	35	70	—
120	12.5	25	50	95

Comparando las velocidades con los espaciamientos necesarios para alojar las demandas de viajes en las diferentes áreas de una ciudad, se puede recomendar que las arterias están espaciadas de la manera siguiente:

T A B L A 2

Area de la ciudad	Espaciamiento entre arterias (m)	Tiempo del ciclo en seg.	Velocidades km/h.
Centro Comercial	200 - 400	60 a 90	25 a 15
Perimetral al Centro Comercial	400 - 800	60 a 90	50 a 35
Suburbanas	800 - 1600	90	70

14. - Capacidad promedio, por carril de circulación en intersecciones con semáforos 500 - 800 veh/n.

## 7. - CALLES COLECTORAS. -

Las calles colectoras sirven para distribuir el tránsito entre las arterias y las calles locales. El sistema de calles colectoras se destina para los movimientos de tránsito de paso dentro de un área local y para dar acceso a las propiedades .

En estas calles debe de tomarse las previsiones para alojar los movimientos de vueltas, estacionamiento, ascensos y descensos de pasaje y para carga y descarga de mercancías (figura 10).

Características operacionales y geométricas de las calles colectoras:

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. - Longitud recomendable                                   | menos de 2 km |
| 2. - Velocidad de proyecto                                   | 40 - 55 km/h  |
| 3. - Velocidad de operación:                                 |               |
| a. - En las horas de máxima demanda                          | 30 km/h .     |
| b. - A otras horas   | 30 - 55 km/h  |
| 4. - Número de carriles de circulación:                      |               |
| a. - Densidad alta   | 3             |
| b. - Densidad baja   | 2             |
| 5. - Anchura de los carriles de circulación:                 |               |
| a. - Carril derecho  | 3.6 m         |
| b. - Demás carriles  | 3.0 m         |
| 6. - Anchura de los carriles para estacionamiento en cordón: | 2.5 m         |
| 7. - Anchura de las aceras ó banquetas                       | 3.0 - 4.0 m   |

8. - Anchura del derecho de vía (m) :

C o n d i c i o n e s	Carriles de circulación	
	3	2
a. - Con estacionamiento lateral en un solo lado	18.1 - 20.1	15.1 - 17.1
b. - Con estacionamiento lateral en ambos lados	20.6 - 22.6	17.6 - 19.6

9. - Pendiente longitudinal máxima:

8%

10. - Radios mínimos en las esquinas de las intersecciones

4.5 - 7.5 m

11. - Distancia mínima de visibilidad de para da :

Terreno plano (0% a 8% de pendiente - transversal)

75 m

Terreno ondulado (8.1% a 15% de pendiente transversal)

60 m

Terreno accidentado de (más del 15% de pendiente transversal)

45 m

12. - Radio de curvatura mínimo, al eje de la curva :

Terreno plano (0 a 8% de pendiente - transversal)

105 m.

Terreno ondulado (8.1% a 15% de pendiente transversal)

70 m

Terreno accidentado (más del 15% de pendiente transversal)

45 m

13. - Pendiente máxima:

Terreno plano

4%

Terreno ondulado

8%

Terreno accidentado

12%

14. - Espaciamiento entre calles colectoras . -

Para dar cabida a los movimientos intermedios entre el tránsito

local y el de paso o viceversa, se recomienda que las calles colectoras estén es-

placadas de 400 a 750 m .

15. - Capacidad promedio de cada uno de los carriles de circulación, en intersecciones a nivel con semáforos

300 - 500 vch/h .

CALLES COLECTORAS  
SECCION TRANSVERSAL  
(un sentido de circulación)

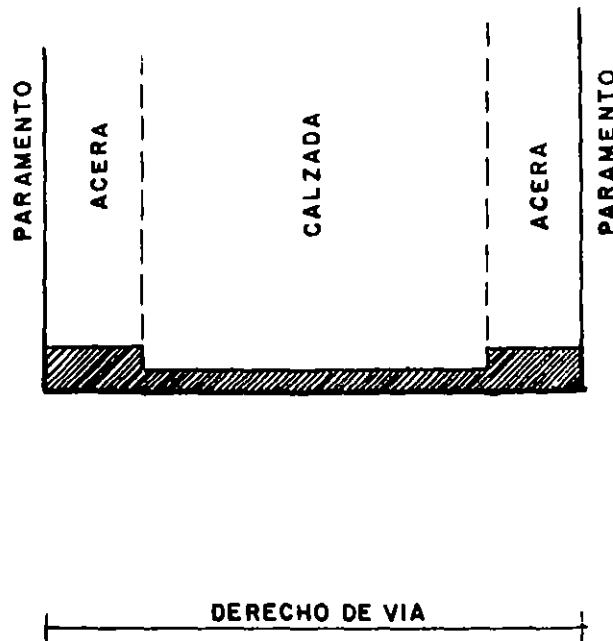


FIGURA 10

8. - CALLES LOCALES. -

Las calles locales se utilizan para el acceso directo a las propiedades y deben estar conectadas con el sistema de calles colectoras. El movimiento de paso debe evitarse por estas calles, ya que de otra manera se demerita su función (figura 11).

Características operacionales y geométricas de las calles locales :

- 1. - Longitud recomendable                          menos de 800 m
- 2. - Velocidad de proyecto                                  30 - 50 km/h
- 3. - Velocidades de operación:
  - a. - En las horas de máxima demanda:                          15 km/h
  - b. - A otras horas:    15 - 30 km/h
- 4. - Número de carriles de circulación:
  - a. - Densidad alta    2
  - b. - Densidad baja    1
- 5. - Anchura de los carriles de circulación                          3.3 m
- 6. - Anchura de los carriles de estacionamiento en cordón                          2.5 m
- 7. - Anchura de las aceras ó banquetas                          2.5 - 3.0 m
- 8. - Anchura del derecho de vfa (m) :

Con dic i o n e s	Carriles de circulación	
	2	1
Estacionamiento en ambos lados	16.6 - 17.6	13.3 - 14.3

9. - Pendiente longitudinal máxima                          12 -- 15%

10. - Radio mínimo en las esquinas de las intersecciones:

Calle local con calle local    4.5 m

Calle local con calle colectora	7.5 m
11. - Angulos de las intersecciones	90°, casos especiales de 75° a 90°
14. - Pendiente máxima :	
a. - Terreno plano	4 %
b. - Terreno ondulado	8 %
c. - Terreno accidentado	15 %
15. - Longitud máxima para calles cerradas	150 m
16. - Radio mínimo del retorno en calles cerradas	15 m

**CALLES LOCALES**  
**SECCION TRANSVERSAL**  
(un sentido de circulación)

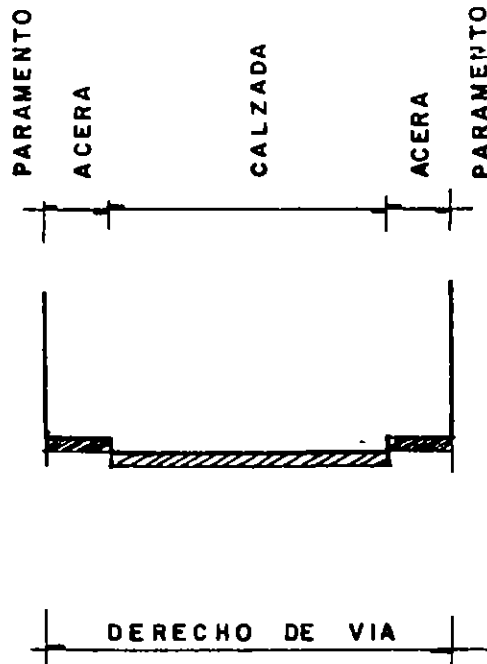


FIGURA II

## 9. - CICLOPISTAS y CALLES PEATONALES

Dentro de la clasificación de un sistema vial urbano, se deben considerar las ciclopistas, que son las vías por donde circulan las bicicletas exclusivamente y las calles peatonales que son aquellas por donde transitan los peatones principalmente .

Ciclopistas :

En la figura 12 se ilustran las características geométricas mínimas de la sección transversal de una ciclopista .

En la tabla 3 se indican las velocidades de proyecto, los radios de curvatura mínimas y las distancias de visibilidad de parada, para las ciclopistas.

Las pendientes longitudinales son del 1% al 2% y en tramos cortos pueden llegar a ser hasta el 5% como máximo .

Calles peatonales:

La distancia máxima que se recomienda que tengan las calles peatonales es de 300 m, o sea es la distancia máxima que está dispuesta a caminar una persona, en la zona comercial de una ciudad .

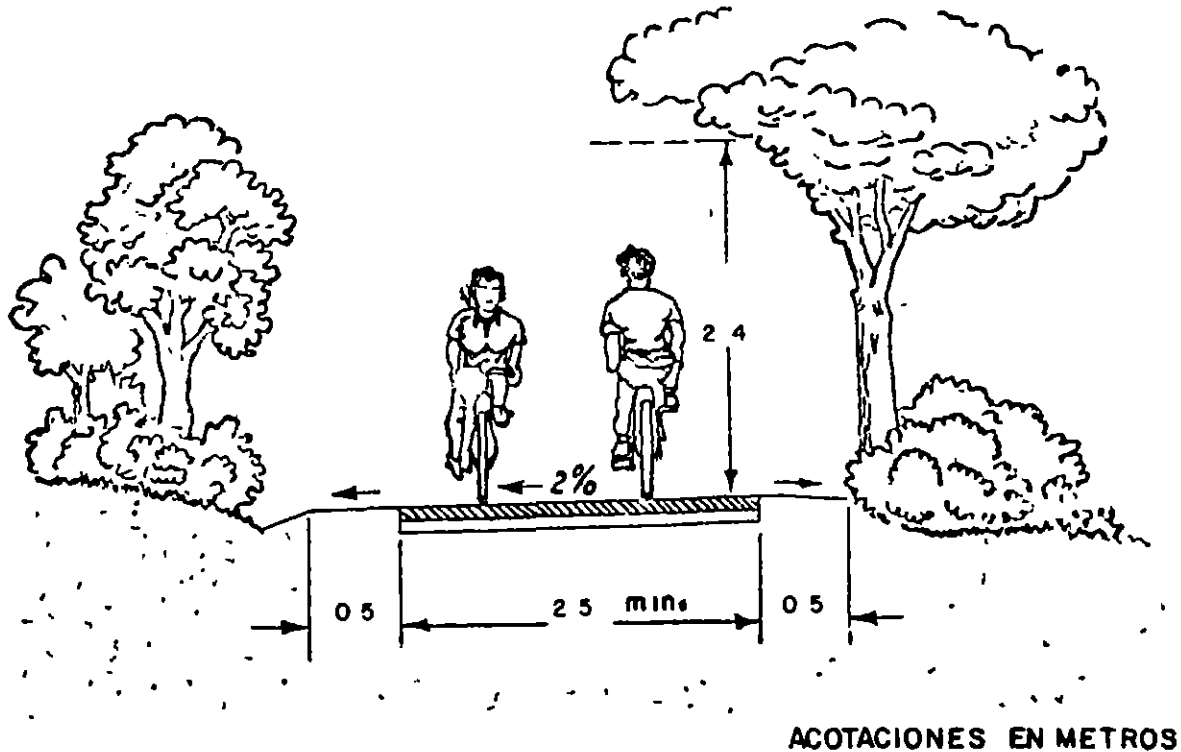
En las intersecciones con las calles de circulación de vehículos deberán de instalarse semáforos y marcas sobre el pavimento, para que el cruce de los peatones se realice con seguridad.

En la sección transversal de una calle peatonal, se deberá de dejar un espacio libre de 3.6 m de ancho para la circulación eventual de vehículos, como pueden ser bomberos, ambulancias ó de camiones para la carga y descarga de mercancías.



PROYECTO DE CICLOPISTAS

FIGURA 12



T A B L A 3

Con d i c i o n e s	Velocidad de - proyecto (km/h)	Radio de curva tura mfnimo . (m) (l)	Distancia de visibilidad - de parada (m)
En áreas urbanas doble sentido - de circulación, sin separador .	15 - 25	5 - 10	15 - 25
En áreas urbanas, separadas las calzadas y en zonas suburbanas - con terreno a nivel u ondulado .	30	20	35
Con pendientes pronunciadas .	50	40	60

(l) El radio está calculado con una sobreelevación de 0.02 m/m. El radio mfnimo puede ser reducido aproximadamente 2% por cada 0.01 m/m de incremento en la sobreelevación, siendo la sobreelevación máxima de 0.05 m/m. Es recomendable que en las curvas con radios menores de 30 m se considere un sobreelevación a la calzada de 0.30 m en el lado interior por cada 15° del ángulo central, siendo el sobreelevación máxima de 1.00 m.

El nivel del piso de estas calles peatonales deberá estar más alto que el nivel de las calles del tránsito vehicular. El piso podrá tener acabados de diferentes tipos de piedra, con áreas verdes, árboles y espejos de agua (figura 13).

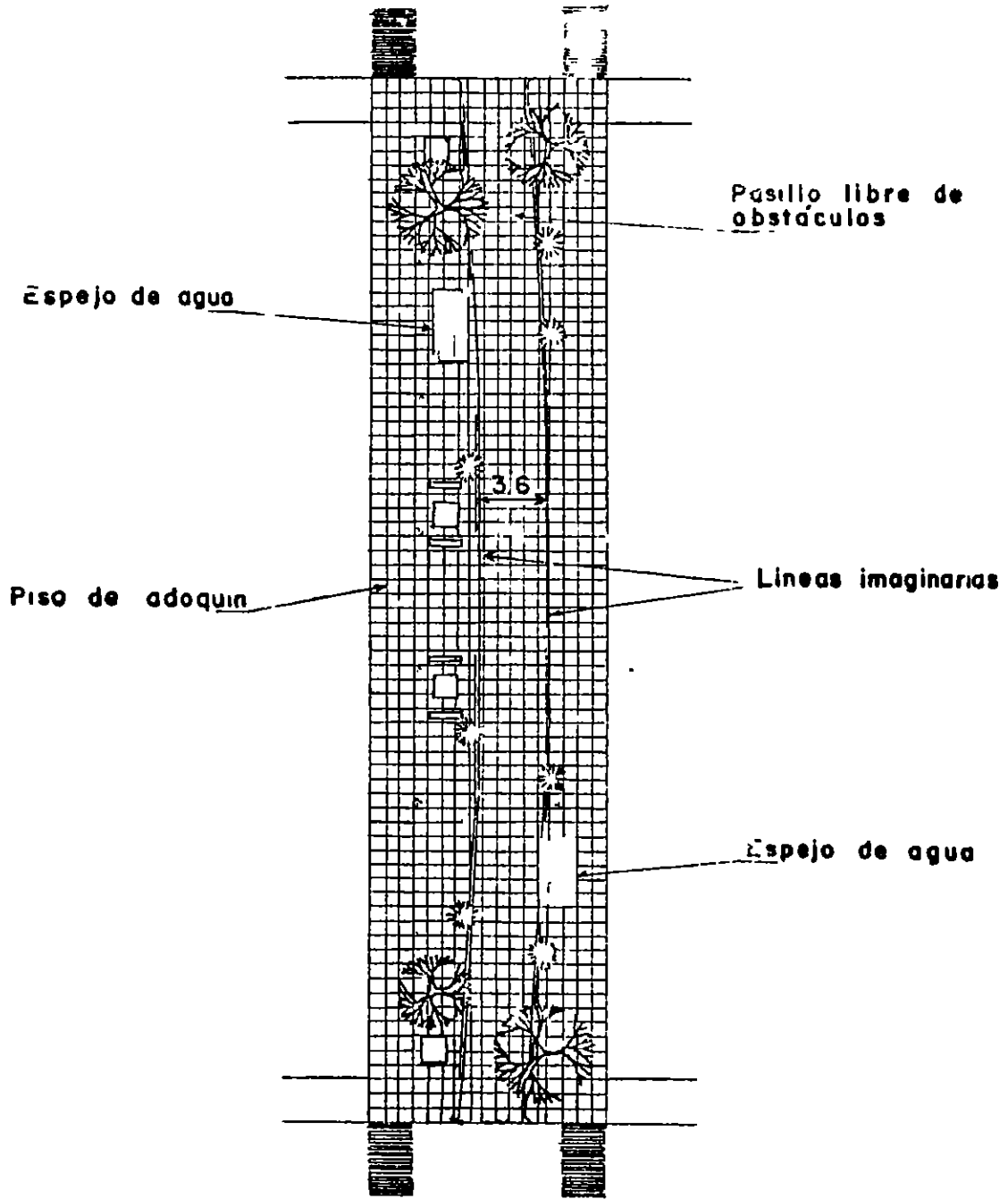
En varias ciudades de los EE. UU. de América, la construcción de las calles peatonales han tenido un efecto saludable y los negocios que se encuentran en estas calles han incrementado sus ventas de un 15 a un 20 por ciento.

Las calles peatonales deberán estar localizadas en un radio de 350 a 450 m de estacionamientos públicos, En el caso de no existir estacionamientos entre las distancias antes indicadas, es necesario incluir la construcción de éstos a la vez que se proyecten las calles peatonales, ya que por estudios realizados se ha encontrado que se incrementa la demanda de viajes en la zona donde se construyen estas calles .

#### 10. - CONCLUSIONES Y PROPOSICIONES.

a. - Es indispensable que las Dependencias de Ingeniería de Tránsito y de Planificación de cada ciudad establezcan la clasificación de su sistema vial actual, que servirá como base fundamental para el desarrollo de sus trabajos futuros y cuya finalidad deberá ser la de mejorar el transporte de personas y bienes que se realizan en las mismas.

b. - Es necesario que una autoridad Federal establezca las especificaciones geométricas para los diferentes tipos de calles que forman el sistema vial de las áreas urbanas y sirvan de norma para las autoridades Estatales y Municipales de la República Mexicana .



CALLE PEATONAL

FIGURA 13

c. - "La Clasificación y Normas Geométricas de un Sistema Vial Urbano" expuestas aquí, tienen como finalidad primordial de que sirvan como una guía para que las autoridades antes mencionadas las aprovechen en la elaboración de las respectivas, que serían las oficiales .

## 7. - TRANSPORTE

### a. - INTRODUCCION:

En el ámbito de una área metropolitana, los individuos pueden juzgar provechoso para sus actividades sociales, culturales o de trabajo, el desplazarse de un lugar a otro.

Este juicio en la persona que lo ha concebido, representa una necesidad de transporte. Esa necesidad debe vislumbrarse con las posibilidades o medio que se obtengan para satisfacerla. Si se observa que esa satisfacción puede alcanzarse, nacerá una demanda de transporte. A esta demanda se verá seguida una oferta de transporte, y de su culminación, surgirá una operación de transporte.

Esa operación puede llevarse a cabo, utilizando distintos sistemas de transporte.

Día a día, el movimiento de personas en una área metropolitana, se convierte en uno de los problemas más complejos, a los cuales tienen que enfrentarse los empresarios de los sistemas de transportes y los organismos gubernamentales encargados del ramo.

Es significativo apreciar en la sociedad contemporánea, y se puede juzgar por observaciones del pasado y predecir para el futuro, que el progreso en la economía de los pueblos se desarrolla en forma proporcional a la facilidad que se tenga para satisfacer esas necesidades de transporte, dentro y fuera de las áreas metropolitanas. Esto no quiere decir que el progreso alcance su máxima expresión, con solo tener un buen sistema de transporte.

Los sistemas de transporte que se brindan para cubrir esa necesidad tan importante, en nuestro sistema político-social, son generalmente

nistas son promotores y directores de las operaciones que resulten de satisfacer los objetivos trazados.

En algunos casos, la autoridad correspondiente, otorga servicios de transporte, por ejemplo: Transportes Eléctricos del Distrito Federal y Sistema de Transporte Colectivo, organismos oficiales encargados de operar el tránsito masivo de pasajeros con tranvías, trolebuses y el ferrocarril subterráneo, respectivamente.

En nuestro régimen de libre empresa, esos empresarios se multiplican y cada uno de ellos ha procedido desde los orígenes de la implantación de los sistemas de transportes, por su propia cuenta y sin una mútua coordinación, a establecer lo que a su juicio y en beneficio de su propia empresa resulta más conveniente, sacrificando en muchos casos el buen servicio y compitiendo en lugar de completar los servicios requeridos para cubrir la necesidad de transportes.

El papel que desempeñan en nuestro país las autoridades correspondientes, es el de controlar y requerir una serie de factores que en beneficio de la comunidad, satisfagan los requerimientos de precios o tarifas, la determinación de concesiones, así como la formulación y la implantación de leyes y reglamentos que regulen el tránsito y el empleo de los transportes.

Igualmente toca a la Autoridad, el construir las facilidades para el buen funcionamiento del sistema de transportes y mantenerlos en buenas condiciones, así como la instalación y operación de dispositivos de tránsito, tales como señales, semáforos, marcas en pavimentos, etc., que facilitan la operación de transportes.

En nuestro medio poco se ha hecho para corregir los problemas que esta demanda de movimientos ordena, tanto por parte de los particulares, como por parte de las autoridades correspondientes. El motivo principal es la falta de recursos económicos que tanto unos como los otros, les limitan a la realización de esos aspectos.

Si cada día se encuentra que aparece un incremento en la complejidad del problema, que representa al establecer operaciones de transportes en las áreas metropolitanas, cabe preguntarse la forma o los procedimientos a seguir para resolverlos.

En opinión de autoridades en la materia y en la más propia, el procedimiento más adecuado es hacer un análisis exhaustivo del problema, conocer la inter-relación de las partes que lo integran y las tendencias que los ligan así como analizar y proyectar con auxilio de las técnicas de la Ingeniería de Tránsito, que las soluciones alternas puedan encontrarse, para que de su estudio se determine la más conveniente, en función a las posibilidades económicas de que se disponga.

Las necesidades de transporte dependen de una serie de variables, como son: Quién o quienes se debe de transportar, Cuál o cuales deben ser las direcciones del trayecto, es decir, desde y hasta donde; en qué momento deben efectuarse, Cuál o cuales caminos deben recorrerse, así como una serie de condiciones específicas de los sistemas de transporte disponibles, en cada caso, como son: Su velocidad, que dará el tiempo de recorrido, la seguridad y el confort, la regularidad de paso (en caso de que existan necesidades sucesivas de transporte), su costo, etc.

Se quiere decir, que como parte fundamental del análisis a efectuarse, para satisfacer la necesidad de transporte, debe considerarse al individuo como usuario del mismo, a los vehículos como medio del transporte y al sistema vial existente.

De la inter-relación entre estas tres variables; usuario-vehículo sistema vial, surgirán los diversos sistemas de transporte, que irán a satisfacer la necesidad mencionada.

El transporte puede ser resuelto directamente por el usuario o bien por una persona con fines de lucro, convirtiéndose por lo tanto en privado o comercial, respectivamente.

El transporte urbano de pasajeros comercial, puede resolverse en forma individual o colectiva.

Tanto el transporte urbano privado como el comercial individual, presentan la particularidad de que al otorgarse exclusivamente, para cubrir una necesidad específica de transporte, se alcanza una mayor eficiencia por su elasticidad y comodidad.

El transporte urbano de pasajeros en forma individual, representa en áreas metropolitanas actuales, una de las principales causas de congestión en las arterias, que habiendo sido construidas para alojar un determinado volumen de vehículos, día a día éstos se ven incrementados por los aumentos del índice de vehículos/persona, de población y consiguientemente de las necesidades de transporte.

En estudios que de este tipo se han realizado en las ciudades norteamericanas, se observó que la tendencia de hacer uso del transporte individual, se ha ido incrementando en forma alarmante en los últimos años, alcan-



za ruidose cifras de más del 50% del total de pasajeros transportados en la Ciudad.

Como es fácil observar, este fenómeno está ocurriendo igualmente en las Ciudades de México.

Esta situación de manera indirecta, la han venido promoviendo las autoridades correspondientes, mediante la construcción de arterias que con altas características estructurales y geométricas benefician al paso expedito de vehículos automotores.

Estas vías de circulación al no representar sino una mínima parte del sistema vial existente, provocan que esos grandes volúmenes vehiculares que se mueven por las arterias, se derramen en el antiguo sistema vial que por lo mismo, es muchas veces inoperante, provocando grandes congestionamientos.

Este fenómeno requiere así mismo la creación de amplias áreas de estacionamiento, en lugares donde el costo del terreno por su ubicación, es elevado. Este aumento vehicular ha aumentado en forma alarmante la contaminación atmosférica, por el residuo de gases tóxicos como producto de la combustión que provocan esos vehículos.

No quiero decir con esto que deba impedirse la construcción de este tipo de facilidades, sino más bien promover que éstas sean producto de estudios adecuados y debidamente complementados, para llenar las funciones a que han sido destinadas.

La capacidad ordinaria de un transporte individual es de aproximadamente 6 pasajeros y el espacio que requiere el sistema vial, es de casi la mitad de autobuses, cuya capacidad varía de 75 a 90 pasajeros. Fácilmente se comprende el aumento de vehículos necesarios con este tipo de transportes, para substituir el de transporte masivo de pasajeros, realizado con autobuses.

Este transporte urbano individual, representa como desventaja - que el costo se incrementa notablemente.

#### b. - TRANSPORTE URBANO DE PASAJEROS

Para tratar de resolver una serie de necesidades de transporte - distintos individuos, que en cierta forma se pueden constituir bajo un común de nominador y de cuya aplicación sea posible obtener con un alto índice de eficiencia su satisfacción, es factible iniciar una operación de transporte colectivo de pasajeros.

En las ciudades mexicanas, los sistemas de transportes colectivos en un alto porcentaje, son operadas por medio de autobuses de distintas características; excepto el 2 ó 3 ciudades de el interior de la República, en las que se operan tranvías y trolebuses, que son administrados por empresas gubernamentales.

Como parte de los sistemas de transporte colectivo. recientemente también se ha hecho uso de automóviles que en una ruta prefijada, otorga ese tipo de servicio. Los resultados permiten juzgar las desventajas que esto ocasiona, por tratarse de vehículos de baja capacidad y cuya disposición no permite el fácil ascenso y descenso sin ocasionar molestias a los demás pasajeros; además que se aumenta considerablemente el costo operacional, la ventaja que esto representa, es que se han abatido los tiempos de recorrido.

Hasta la fecha no se conoce de un plan de integración de los transportes colectivos en ninguna de las ciudades mexicanas, salvo el caso de Monterrey, realizado durante el año de 1967 a iniciativa del Presidente Municipal de esa entidad. (1)

Es de suma utilidad el llevar adelante un plan de integración, mediante el cual se puedan realizar los estudios correspondientes, que permitan

valorar, proyectar u operar los sistemas de transportación que satisfagan igualmente las necesidades de transporte privado como las colectivas.

Como se indicó anteriormente, para realizar ésto, es necesario analizar las variables de las que dependen las necesidades de transporte. Estos estudios deben realizarse periódicamente, en vista de la acción dinámica de cambios a los que están sujetos el sistema vial, los sistemas de transportes y los medios de que ellos se valen, así como el comportamiento y los hábitos de los usuarios.

Por lo tanto, se recomienda que los estudios que a continuación se indican, deben ejecutarse de acuerdo con los planes previamente establecidos, y las posibilidades económicas para sufragar el proyecto total.

(1) - Estudio para la Reorganización del Transporte Público del Municipio de Monterrey, editado por la Dirección del Transporte Urbano, Noviembre de 1967, Búzali, Cal y Mayor y Crespo.

#### c. -EVALUACION DEL SISTEMA VIAL EXISTENTE

Con objeto de conocer las condiciones en las cuales esté operando en un sistema vial de una área metropolitana, es necesario llevar a cabo una serie de estudios, cuyo resultado proporcionará los índices básicos y el nivel de servicio vial que existe en esa ciudad.

Para obtener el grado de evaluación existente, se deberá llevar a cabo el estudio de uso de la calle, el levantamiento físico del sistema vial y como complemento de ellos la determinación de las variables, tales como el volumen vehicular, tiempo de viaje, capacidad vial, índice de frecuencia de accidentes, etc.

d. - USO DE LA CALLE

El objetivo que se persigue con la realización de este estudio, es el de determinar cual es el uso que se le está dando a las vías circulatorias que componen el sistema vial existente. Así como, nos servirá para valorar el nivel de servicios de tránsito existente, así como la preparación de un inventario del estado físico que representa el sistema y de su estudio un programa de inversiones para construcción, ampliación y mantenimiento de esas vías circulatorias, en función al uso que de ellos se dé.

Para llevar a cabo este estudio, es conveniente clasificar el sistema en cualquiera de estas categorías: Sistema Vial Primario. -(Las vías rápidas de superficie y el control de acceso limitado), - Sistema Vial Secundario. -(arterias de mayor importancia, en función a sus características geométrico-estructurales). Arterias Tributarias y calles alimentadoras.

El resultado de este estudio debe ser indicado en un mapa, en el que aparezcan consignadas con una simbología específica para cada una de las categorías mencionadas anteriormente. Este plano debe ser conservado al día, en función de los cambios que pudieran sufrir, dados la realización de distintos proyectos o de que al aparecer nuevos centros generadores de tránsito, tales como Universidades, Bibliotecas, Centros Comerciales, Centros Industriales, Areas de Recreación, etc., modifiquen la categoría de algunas de las vías clasificadas anteriormente.

Es conveniente contar así mismo, con un plano al día que indi que el crecimiento del área metropolitana a estudiar.

e. - INVENTARIO FISICO DE CALLES

Es interesante conocer mediante los estudios correspondientes, las condiciones físicas de las calles y arterias que componen el sistema vial, - tales como ancho y calidad de la superficie de rodamiento, carriles de incorporación, isletas de encauzamiento, etc. La recopilación de los datos obtenidos con estos estudios se concentran y se consignan en una tabulación. Estos datos se vacían a planos de las áreas metropolitanas, las cuales deben ser dibujadas con una simbología adecuada para su fácil interpretación con las leyendas que describan el significado de cada uno de los símbolos adoptados.

Constantemente deben mantenerse actualizados los planos correspondientes, para lo cual se recomienda que las autoridades que se encargen de la modificación y construcción de las condiciones de la estructura física del sistema vial, notifiquen oportunamente los cambios operativos, los cuales pueden ser verificados, si así se desea.

f. - VOLUMEN VEHICULAR

Con el objeto de obtener el valor del volumen vehicular promedio por día de una ciudad dada, será necesario contar continuamente todos los vehículos que pasen en un año. por cada una de las estaciones elegidas. Sin embargo es posible hacer uso de un sistema de muestreo representativo. mediante el cual aforando algunas estaciones, los datos que de ellas se obtengan durante la medición de volúmenes, den un número muy aproximado a la realidad promedio y a un costo mucho menor.

Los volúmenes vehiculares varían de hora a lo largo del día y de día a día a lo largo de la semana y de mes a mes a lo largo del año.

Sin embargo, los números que interesan conocer, son el valor promedio del volumen vehicular diario, y los máximos valores obtenidos durante una hora, así como el conocer el tiempo en que éstos ocurren. A esta hora se le llama de "máxima demanda".

Para realizar este estudio son obtenidos los datos, por medio del uso de contadores mecánicos o manuales durante los períodos previamente establecidos, de acuerdo a la importancia del estudio y a los datos que del mismo se quieren obtener.

Los resultados que de estos aforos se obtengan, deberán ser vaciados en un plano que, a escala gráfica, represente los valores obtenidos de los volúmenes vehiculares, en cada una de las arterias.

Con la interpretación de los resultados obtenidos en estos estudios y en los que de Origen y Destino y Capacidad Vial, se pueden determinar la política que se debe seguir en materia de mejoramiento vial y de localización de rutas de transporte colectivo.

#### g. - DURACION DEL VIAJE

Con objeto de determinar el tiempo de duración de viaje a lo largo de un sistema vial. se llevan a cabo estudios de velocidad y retardo, mediante los cuales además es posible determinar las velocidades promedio de recorrido entre los puntos dados, así como la velocidad de crucero. Paralelamente con los datos de este tipo de estudios, se conocerán las principales causas que motivan las reducciones de velocidad o los tiempos perdidos por paradas.

Una vez conocidas esas causas, es posible proponer las soluciones adecuadas para su alimentación o reducción. Este tipo de estudios se deben llevar a cabo a las horas de máxima demanda, valores que podrán ser determinados con los estudios de volúmenes vehiculares anteriormente anunciados.

Se utilizan diversos procedimientos para realizar los estudios y todos consisten en evaluar la duración total de los viajes realizados entre dos puntos dados del sistema vial, sin embargo, el más generalizado es aquél en el que se emplean vehículos que como parte de la corriente vehicular se mantienen a la velocidad del flujo y en el cual el observador consignando los datos necesarios para completar el correspondiente estudio.

Los datos que deben consignarse son: la longitud del trayecto, el tiempo total invertido en el mismo, los tiempos de disminución de velocidad, de parada, así como las causas que los originan.

De la recolección de datos así obtenidos, se preparan las gráficas representativas de porcentaje, entre el tiempo de movimiento y el de parada así como el de las causas principales de retardo. Se calcula la velocidad dividiendo la longitud del trayecto entre el tiempo de recorrido.

Estos estudios deben realizarse repetida y sistemáticamente a las horas de máxima demanda, de dos días consecutivos de la semana, que sean representativos del movimiento vehicular existente.

Los valores que de los estudios sean obtenidos, deberán ser promediados, para con ello obtener los números y las gráficas definitivas.

Este estudio es de gran importancia, en virtud de que los hábitos de los usuarios, para la determinación o elección entre uno u otro sistema de transportes, depende principalmente del tiempo que les lleve el realizar el desplazamiento, ya que una mayor inversión en tiempo, significa una reducción del

potencial económico y un más bajo nivel de servicios.

#### h. - CAPACIDAD VIAL

Para determinar el índice de servicios de un sistema vial dado, es necesario conocer su capacidad vial . Para obtenerla se deben calcular las capacidades vehiculares en las principales intersecciones de las arterias del sistema secundario o avenidas principales.

La capacidad vehicular en una intersección, depende de las características geométricas de la avenida, tales como ancho de superficie de rodadura, así como las variables que componen el tráfico vehicular, tales como el porcentaje de vehículos que da vuelta, la composición del tránsito vehicular de la calle de los estacionamientos en operación, el porcentaje del tiempo que se invierte para el franqueo de la intersección, este último determinado del total del ciclo del semáforo, así como la hora en que se lleve a cabo el estudio.

Usualmente se formulan estos análisis a la hora de "máxima demanda" , aún cuando entre todas esas variables mencionadas, son difícilmente conocidas,, ha sido posible desarrollar en métodos para determinar la capacidad vehicular.

El estudio de los valores que se obtengan de la capacidad vial, nos permite obtener una información de la eficiencia del actual sistema. Con las predicciones que se hagan de volúmenes vehiculares resultantes de los estudios de "origen y destino" o de las variaciones que el futuro se esperan para el sistema vial, se podrá conocer cuando ocurrirá el que el volumen vehicular llegue a su máximo de saturación en una calle dada. Lo anterior permitirá establecer las medidas que sean necesarias para evitar que esta situación alcance el grado



de tener un congestionamiento excesivo.

Este conocimiento, beneficiaría altamente en la decisión de los recorridos el sistema de transporte urbano debía seguir, con el propósito de obtener una mayor eficiencia y un mínimo tiempo de recorrido y como resultado, una mayor velocidad de cruce.

#### 1. - INDICE DE ACCIDENTES

Una de las condiciones más importantes en transporte de pasajeros, es la seguridad que los sistemas ofrezcan al usuario del sistema vial.

Por lo tanto, se hace necesario llevar a cabo un análisis de la incidencia de accidentes, así como la determinación del sitio en que éstos ocurren, con objeto de determinar hasta donde sea posible, las causas que los originen y la efectividad de los controles de tránsito que estén en operación o que sea necesario para corregir la deficiencia.

Con el conocimiento de estas causas que los originan, será posible prever y evitar el que ocurran, estableciendo las medidas restrictivas que se hagan menester.

Este estudio se lleva a cabo mediante la obtención de los datos que de cada accidente se obtiene, lo que se logra, con la utilización de las formas especiales elaboradas para ese fin y que generalmente son requisitadas y completadas por personal de la autoridad correspondiente, que tome conocimiento en cada uno de los accidentes de tránsito.

En esas formas deben establecerse todas las condiciones que prevalecían: Fecha y hora del día, superficie de rodamiento, dirección del viaje, características de los conductores y los vehículos involucrados, consecuencias que del mismo se tuvieron y un diagrama que permita visualizar el trayecto inicial y la posición final de los vehículos envueltos en el accidente.

Estos reportes deben vaciarse a los mapas - en los que esté delimitada el área metropolitana y gráficamente indicarse la localización de cada accidente, el tipo y el saldo de daños que del mismo se obtuvo.

Mediante la simple observación de estos mapas, se podrán apreciar los puntos de peligrosidad del sistema vial, que serán aquellos en que aparece el mayor índice de ocurrencia en el tiempo dado. Esto tendrá mucho valor en la determinación de las rutas a seguir por parte de los pasajeros de transporte colectivo y transporte privado.

Durante el estudio que se llevó a cabo en la Ciudad de Monterrey (1) se obtuvieron datos verdaderamente alarmantes, ya que durante el período estudiado, uno de cada 12 vehículos que circulan por la ciudad sufrió un accidente, y de ese grupo, el correspondiente a los autobuses fué en el mismo lapso de dos accidentes para cada unidad en servicio. Como se ve los autobuses representaron una peligrosidad 24 veces mayor que el resto de los vehículos en operación.

El análisis de este estudio específico, permitió recomendar una revisión total a la técnica operacional de los sistemas de transporte, proponiendo la aplicación de sanciones económicas a los conductores, así como un mejor control de personal operativo, mediante la selección de candidatos y la aprobación previa a las pruebas físicas y de manejo. Igualmente, se recomendó la revisión periódica del equipo, ya que de las principales causas de la incidencia de accidentes, fué el mal estado en que se encontraban los mismos.

Como resultado de lo anterior, se recomendó que se estableciera el programa continuo de reposición del equipo que ya hubiera rebasado su vida útil, por un equipo nuevo y más funcional.

## 1. - ORIGEN Y DESTINO

El estudio de origen y destino es un proceso de investigación, mediante muestreos representativos, de cuyo resultado se permite el conocer las demandas de movimiento de los habitantes de una área metropolitana, el sistema de transporte que emplean, la hora del día en la que los desplazamientos son efectuados y el tiempo utilizado en el trayecto.

La información que de estos estudios se obtengan, es así mismo valiosa para realizar análisis adecuados de planificación vial, así como para sugerir el uso de nuevas áreas de desarrollo dentro de un plan regulador de crecimiento urbano.

De los datos obtenidos, se determina la inter-relación que existe entre el transporte urbano individual y el transporte urbano colectivo.

Para llevar a cabo estudios de origen y destino, es necesario conocer la distribución de la población en el área metropolitana, por lo que debe obtenerse un mapa, en el que esté indicada la densidad demográfica.

Los procedimientos que deben seguirse para la realización de este estudio, varían de acuerdo con el tamaño y las características de las áreas metropolitanas, pero en todo caso el proceso consiste en requisitar un cuestionario, mediante entrevistas selectivas o por otros medios, entre un número determinado de usuarios, de manera que se obtengan un cuadro lo suficientemente amplio para que sea representativo. El tamaño de la muestra dependerá desde luego de la población total del tamaño del área metropolitana.

Estas entrevistas no deben ser limitadas a un día dado, sino, se recomienda que se lleven a cabo en un lapso mucho mayor a fin de obtener un

un patrón de movimientos más reales, para que no aparezca únicamente la influencia de una época determinada del año.

Para grandes ciudades, el empleo de computadoras permite el obtener una tabulación mecánica detallada y la obtención de los resultados y el análisis programado. Con la obtención de estos datos en un plano del área metropolitana, deben trazarse las líneas de demanda de movimientos a la escala gráfica correspondiente, de cuyo análisis se permitirá elaborar un estudio adecuado de planificación vial o de trazo de rutas de transporte colectivo.

Este es probablemente el estudio que mayor significación tiene, para determinación del patrón de movimientos de la población urbana; por lo que de su conocimiento, se podrían proyectar los recorridos idóneos a seguir tanto para aquellos que hacen uso del transporte privado como los del colectivo.

El trazo de las rutas de los transportes colectivos, así como el tipo de servicio a otorgarse, frecuencia de paso y tipo de unidades, es fácilmente obtenido, mediante la interpretación adecuada de estos estudios.

El análisis del problema que en forma integral se presenta con el conocimiento de este estudio, permitirá establecer las técnicas operacionales de transporte y con toda seguridad, auxiliados por los estudios que a continuación se describen, la reestructuración de las rutas, para alcanzar el máximo de eficiencia en el transporte de pasajeros, con el mínimo tiempo de recorrido.

Al igual que los estudios anteriores, periódicamente debe llevarse a cabo el de origen y destino, que de acuerdo con las experiencias obtenidas en otras ciudades y dado su elevado costo de ejecución, su periodicidad

debe fluctuar entre los 5 y 10 años

#### k. - INVENTARIO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COLECTIVOS

Con objeto de planear una integración entre los sistemas de transportes en una área metropolitana, es conveniente realizar una serie de estudios que determinen la evaluación del sistema actual del transporte urbano colectivo de pasajeros, estudios de cuyos resultados se puede obtener la meta a alcanzar al conseguir la máxima eficiencia y economía.

En todas las ciudades mexicanas, los sistemas de transporte colectivo en su mayoría, están en manos de distintas empresas que lejos de complementarse en servicios, en ocasiones se contraponen, estableciendo una política de competencia nociva y provocando duplicidad de servicios en unas zonas, con detrimento de otras menos favorecidas por la poca afluencia de pasajeros.

Consecuentemente, la integración de estos estudios debe efectuarse contando con la colaboración de todas las empresas que brindan los servicios de transporte, tanto privadas, como estatales, ya que como se dijo anteriormente, de su culminación saldrán necesariamente soluciones que beneficien altamente en primer término al usuario del servicio, así como a la economía de las ciudades y de las empresas.

Estos estudios consisten en coleccionar una serie de datos, de cuyo análisis, de una manera coherente, y de acuerdo con las técnicas establecidas, se puedan obtener soluciones que sean completadas con los resultados que, de los estudios anteriormente descritos se lograron para que se proyectaran los sistemas de transportes de pasajeros, que presenten una solución del tipo integral,

tanto para movimiento de transporte privado como colectivo.

#### 1. - INVENTARIO DE RUTAS Y AREAS DRENADAS

Para determinar la eficiencia del servicio de transportes que se está brindando en una área metropolitana, es necesario comparar el recorrido de las rutas de transporte existentes, con la distribución de concentración demográfica y con las demandas de movimientos existentes.

Estos estudios deben llevarse a cabo, vaciando en un plano los recorridos de las rutas de cada una de las líneas que operan en la ciudad.

Las rutas de transporte drenan el flujo de pasajeros en una zona a lo largo de las cuales tienen su recorrido y a uno y otro lado de la misma, en forma paralela, con un ancho tal, que la distancia de recorrido sea conveniente para el pasajero. Normalmente esta distancia de recorrido se considera de 200 metros; quiere decir, que el ancho de la franja será de 400 metros.

Trazadas las franjas correspondientes a cada una de las rutas, es fácil determinar, de acuerdo con el plano de densidad demográfica, cuales son aquellas áreas que carecen de servicio de transporte y cuales aquellas en las que se está otorgando en forma racional o por demás excesiva, en función a esa tendencia competitiva de la que se habló anteriormente. Este fenómeno ocurre muy frecuentemente en las ciudades mexicanas y se ve principalmente en los sectores densamente poblados o en las zonas de centros generadores de tránsito importantes, a los que ocurren varias líneas de transportes con recorridos, aproximadamente iguales.

Del análisis de este estudio se permite conocer la interrelación que

existe, entre la demanda del movimiento que requiere el pasajero y la que ofrece por otra parte. la línea de transporte, en lo que respecta a los recorridos que siguen la ruta. Es decir, permite evaluar el grado de similitud que tienen actualmente las rutas en operación, en relación a las líneas de demanda, que se obtuvieron como resultado de los estudios de origen y destino.

#### m. - INVENTARIO FISICO DE LINEAS DE TRANSPORTE

Es así mismo interesante realizar un inventario de las unidades que recorren las rutas en un sistema vial, conocer cual es su capacidad y calidad y estado de conservación, así como cuales son sus posibilidades operacionales. Este inventario va a redundar en beneficio del usuario, ya que se mantendrá la política, de conservar un alto nivel de servicio en las unidades requeridas para estos sistemas, estandarizando dentro de lo posible y en beneficio de la empresa, el equipo de transporte.

Deben conocerse asimismo las posibilidades que las empresas operadoras de los servicios de transporte, tengan para mantener en perfecto estado de funcionamiento, las unidades que utilicen para brindarlos.

Asimismo, es conveniente llevar a cabo para cada línea, un estudio de las condiciones físicas de las rutas por la que circulan, lo que se lleva a cabo, con los estudios anteriormente descritos en la evaluación del sistema vial existente.

#### n. - INDICE DE OCUPACION DE LOS PASAJEROS

En todos los casos, el número de pasajeros que aborda un sistema de transportes, varía a lo largo del día, de la semana y del año. Esta varia

ción responde a las distintas necesidades de transportes a satisfacer por parte de los pasajeros, por lo que es conveniente conocer cual es el número de ellos a transportar en un momento dado.

El conocimiento de estos datos permite establecer una frecuencia de paso adecuada a los requerimientos del usuario del sistema de transportes.

Para llevar a cabo estos estudios, son fijadas determinadas estaciones a lo largo de la ruta, que generalmente se ubican en las zonas de mayor incidencia y son contados los números de pasajeros que pasan por ese punto en un momento dado. A estas estaciones se les denomina de "máxima carga".

Normalmente, las observaciones son hechas durante 3 días a la semana, que sean representativos en un período de trabajo que refleje las condiciones usuales de operación.

Estos estudios deberán ser completados con la determinación del estudio de "frecuencia de paso" que da el tiempo que transcurre entre el paso de uno y otro autobús, medida que va a establecer la regularidad del servicio en un punto dado, cuando ésta corresponde a la demanda observada en los puntos de máxima carga.

Con los datos obtenidos en estos estudios y conocida la capacidad de los vehículos de que se dispone, se puede proyectar en caso requerido el aumento o disminución de las unidades utilizadas, consiguientemente la frecuencia de paso, lo que se refleja en una mayor eficiencia y economía del sistema de transportes.



o. - DURACION DEL VIAJE

Ya se mencionó anteriormente la importancia que tiene para, el pasajero el tiempo que éste invierta en desplazarse de un punto a otro en un ciudad. Por las necesidades del transporte colectivo, que debe satisfacer una serie de características específicas para cada pasajero, se hace necesario que las unidades que otorguen el servicio, realicen paradas a lo largo de su ruta, para recibir o dejar usuarios, lo que provoca un considerable aumento en los tiempos totales de recorrido. Deben hacerse los estudios de velocidad y retardo a lo largo de cada una de las rutas, siguiendo los procedimientos que se marcaron en el estudio correspondiente, utilizando como vehículo de estudio los mismos autobuses que prestan el servicio de transporte.

Analizando los resultados que de estos estudios se obtengan se podrá mejorar el flujo de movimiento, proponiendo a las autoridades correspondientes recomendaciones adecuadas, a fin de disminuir las causas principales que provocan los retardos y de suprimir, en su caso, las paradas innecesarias, como resultado del estudio que sigue:

p. - ASCENSO Y DESCENSO DE PASAJEROS

Debe llevarse a cabo un estudio que permita conocer cuales son las tendencias y hábitos de los pasajeros en la utilización de las zonas de ascenso y descenso. así como las condiciones del flujo vehicular operante para determinar la localización más conveniente de las mismas, a lo largo de una calle cualquiera.

Estos estudios se llevan a cabo con observadores situados a lo largo de la ruta, o bien que viajando a bordo del autobus, se consignan el número de pasajeros que abordan, que descienden y que permanecen en el autobus.

Del resultado de estos estudios, los que previamente son consignados en gráficas y tablas para su interpretación, se determinarán la localización más adecuada de las zonas de ascenso y descenso, pudiendo llegarse a suprimir las que son por su poca importancia, innecesarias, aumentando con éllo la eficiencia en el transporte al reducir los tiempos perdidos por paradas de los autobuses.

La localización del lugar preciso de la zona de ascenso y descenso, se determinará en cada caso, en función a las variables de volumen del tráfico vehicular existente en la vía de la localización de los centros generadores de pasajeros, así como de las especificaciones geométricas de la calle. Resumiendo, el transporte de pasajeros en una área metropolitana, es factor principal que influye en el desarrollo económico, cultural, social y recreativo de sus habitantes. Por lo tanto debe resolverse en forma integral estudiando las necesidades de transporte de los usuarios, las ofertas que se le presenten para resolverlas y las operaciones de transporte que de esas ofertas surjan.

El análisis racional a los conocimientos que se obtengan de estudiar la interrelación entre el usuario o pasajero (sus hábitos, tendencias y necesidades), el sistema vial existente (la capacidad, el estado físico, las características geométrico-estructurales, características del flujo vehicular, etc.)

y los sistemas de transportes disponibles (características de los vehículos, su número, capacidad, mantenimiento y administración adecuados, etc.), permitirá proyectar un plan que en forma integral resuelva en un momento dado, las necesidades del transporte urbano de pasajeros.

El estudio de esta interrelación de variables, es sumamente complejo, ya que envuelve por una parte, la actitud humana y por la otra las leyes físicas, el tiempo, espacio y movimiento.

En el desarrollo de una área metropolitana, estas variables no son permanentes, sino que por la dinámica del desarrollo, sufren mutaciones. Por lo tanto para que tengan validez las conclusiones a las que se llegue, después de completar el análisis correspondiente, deberá efectuarse una revisión periódica y sistemática de cada una de las variables que afectan a las necesidades del transporte.

La revisión o revaloración de esos datos, permitirán mantener los sistemas de transportes a un máximo nivel de servicio y relacionadas siempre a la realidad presente, permitiendo asimismo que las autoridades correspondientes puedan establecer una adecuada política de construcción de facilidades y reglamentación operacional, supeditado todo a un plan general de integración, lo que redundará en beneficio de la economía de la ciudad y sus habitantes.

Con la exposición que se ha hecho, se ha pretendido establecer un procedimiento de estudio, mediante el cual aplicando las técnicas de la Ingeniería de Tránsito, se permita llegar a la solución de los problemas que representa el transporte urbano de pasajeros.

## 8 - RECURSOS FINANCIEROS

Las vías en general han sido construidas utilizando las fuentes de financiamiento más diversas. En la antigüedad era frecuente la construcción de camino con mano de obra esclava y se solía obligar a las comunidades anexas a mantenerlos en un estado de conservación adecuado. En nuestros días, tanto los caminos como las calles son construidos y conservados casi siempre por entidades gubernamentales empleando fondos viales.

### A. LOS FONDOS VIALES

Representan los fondos viales el dinero que es necesario invertir constantemente en caminos y calles con miras a la adaptación del sistema vial de un país o región a las necesidades de transporte y circulación por ese sistema. Los fondos viales constituyen una parte muy pequeña del costo total del transporte, pero como producen beneficios indirectos, muchas veces no es fácil determinar sobre quiénes debe recaer la responsabilidad de contribuir a ellos ni la cuantía de los aportes individuales. Es por esa razón que existe una gran variedad de teorías y métodos de financiamiento vial que varían de un país a otro y aun dentro de un mismo país.

Dejando aparte las vías privadas, que constituyen una parte insignificante del sistema de transporte de un país, las fuentes principales de los fondos viales son: 1) Impuestos a los usuarios de las vías; 2) Impuestos sobre las propiedades beneficiadas por las vías; 3) Contribuciones del público en general y 4) Recaudaciones directas en las vías entre sus usuarios.

a) Impuestos a los usuarios de las vías. Algunos de los impuestos de es-

ta clase que se encuentran en vigor en distintos países son sobre lo siguiente.

a1 Compra y traspaso de vehiculos. Este impuesto es de gran importancia en países poco desarrollados industrialmente o donde se considera el automóvil como un artículo de lujo.

a2 Matriculación de vehículos. Basado en la antigüedad del vehículo, precio original del mismo, potencia del motor, número de ruedas, ancho de las ruedas, número y tipos de ejes, anchura y longitud del vehículo, peso con carga o sin ella.

a3 Combustibles. La cantidad recaudada por este concepto es mayor que cualquier otro gravamen a los usuarios de las vías. Generalmente existe la práctica de establecer un impuesto menor en el combustible para motores diesel que en la gasolina; sin embargo, un impuesto equitativo debería ser 50% superior en el combustible para motores diesel debido a que los vehículos previstos de estos motores recorren una longitud aproximadamente 50% mayor que con motores de gasolina para una misma cantidad de combustible y una potencia de motor análoga.

a4 Lubricantes.

a5 Permisos de conducir

a6 Neumáticos y otras partes que necesitan reemplazarse por desgaste o rotura.

a7 Materiales para la fabricación de los vehículos .

a8 Cargas que transportan los vehículos Para determinar la proporción en que deben contribuir a los fondos viales los dueños de los vehí-

culos, en función de la carga que transportan, se han ideado varios métodos:

a8-1 Método Incremental o de Costo Diferencial. Es el más racional y se basa en que la responsabilidad que tiene cada vehículo en el costo de las vías, depende de los requisitos estructurales que impone la circulación del vehículo en cuestión. Necesita primeramente la determinación técnica del tipo de vía que puede resistir los elementos y un tránsito de vehículos ligeros o "básicos"; que se denomina "vía básica". Vehículos más pesados que los básicos necesitan una vía más fuerte para soportar la carga adicional que imponen. El incremento necesario en el pavimento y otras estructuras para soportar los vehículos pesados debe ser pagado exclusivamente por los dueños de estos vehículos. Aparte de pagar por los incrementos estructurales, los dueños de vehículos pesados tienen también que pagar por la parte proporcional correspondiente de la vía básica.

El método incremental requiere un estudio muy completo de los costos de construcción de vías, requisitos estructurales para soportar las distintas categorías de vehículos y uso de la vía por las diferentes clases de vehículos. Aunque todos los factores de este método no se han resuelto satisfactoriamente, se está llevando a la práctica en algunos estados de la Unión Norteamericana. 2, 3, 4. Los resultados de las investigaciones realizadas en el ensayo de carreteras - se Ottawa, Illinois, E.U.A., llevado a cabo por la "American Association of State Highway Officials" y el "Highway Research Board", ayudarán a determinar la vía y el vehículo básico y los efectos de los distintos tipos de vehículos en el pavimento y otras estructuras.

a8-2. Método peso-distancia, Consiste en gravar los vehículos de transporte en función del peso del vehículo, cargado o vacío y de la distancia recorrida.

a8-3. Método basado en el costo de operación. Se basa en la aplicación de una contribución en proporción al costo de operar el vehículo de transporte.

a8-4. Método basado en el costo de la mercancía. Consiste en aplicar un impuesto en proporción al valor de la mercancía transportada.

b) Impuestos a los dueños de las propiedades beneficiadas por las vías.-

En los municipios ésta es la principal fuente de ingreso para el financiamiento vial. Se justifican por la plusvalía o aumento en el valor de las propiedades que origina la construcción o mejoras de las vías.

c) Contribución del público en general. Las entidades políticas beneficiadas por los sistemas viales también suelen hacer aportes a los fondos viales con dineros que no proceden siempre de los beneficiarios directos de las vías, sino que son en última instancia contribuciones del público en general.

Entre estos aportes pueden incluirse los que hacen los gobiernos centrales para la construcción de carreteras militares, o para ayudar a mejorar los sistemas viales a fin de que sirvan mejor para fines estratégicos. Los sistemas de carreteras más completos que el mundo ha conocido se han construido bajo el apremio de las necesidades militares: las calzadas romanas, los caminos incas, y modernamente las "autobahns" alemanas y hasta cierto punto las "inter-

tate freeways" norteamericanas.

Durante épocas de crisis económicas también se han engrosado los fondos viales con sumas provenientes de fuentes ajenas a los beneficios de las vías, a fin de crear trabajo para los desocupados.

d) Recaudaciones directas entre los usuarios de las vías. Esto se realiza mediante el cobro de un peaje a los poseedores de los vehículos que usan una vía o parte de la misma. Esta recaudación se hace generalmente cuando.

d 1 El número de vehículos en una región aumenta más rápidamente que la longitud y capacidad de las vías.

d 2 Prevalece la idea de que el automóvil es un artículo de lujo.

d 3 El gobierno no aprecia el efecto económico de los caminos en el país.

d 4 Es preciso ejecutar obras de gran magnitud cuyo costo debe ser pagado por aquellos que se beneficien muy directamente con ellas.

El financiamiento mediante el cobro de un peaje puede ser la mejor solución para la pronta construcción y puesta en servicio de obras necesarias, sin tener que esperar que se establezcan nuevos impuestos que produzcan los fondos necesarios. Por este método se pueden construir algunos puentes y túneles sin ninguna aportación oficial y obtener un interés adecuado para el capital invertido.

Las vías que se construyan con el objetivo de financiarlas mediante el cobro de un peaje no deben ser financiadas completamente con capital privado. Debido a que los vehículos que circulan por ellas consumen gasolina y lubri-



cantes que están gravados con impuestos gubernamentales, es necesario que el gobierno aporte parte del capital inicial o pague un peaje anual en proporción a la cantidad de gasolina y lubricantes consumidos exclusivamente por los vehículos que circulen por la vía de peaje. Esta ayuda económica gubernamental no es generalmente necesaria en los puentes y túneles de peaje debido a que éstos son cortos y se autofinancian con facilidad. La concesión de las vías, u otras obras de peaje a instituciones privadas para su explotación deberá hacerse de tal forma que al cabo de un cierto número de años, o cuando se haya amortizado el capital invertido, pasen a propiedad del público, eliminándose el peaje.

#### B. APLICACION DE LOS FONDOS VIALES

Los fondos viales se pueden ir aplicando en la medida que se van percibiendo las recaudaciones provenientes de contribuciones, o peajes. Este es el sistema llamado de "pago al día" y para ponerlo en ejecución se suele destinar a los gastos de vialidad cierta parte del presupuesto ordinario de las entidades administrativas correspondientes.

Otras veces se toman adelantados fondos de otras procedencias para efectuar mejoras viales "a cuenta" de los beneficios económicos que se van a derivar de las mejoras. Si esos beneficios son mayores que el valor de los fondos más el costo de diferir su pago (intereses, etc), la operación resultará provechosa, como se verá más adelante.

Para lograr el anticipo de fondos viales se pueden emitir obligaciones o bonos, o bien, obtener préstamos de entidades bancarias. Las vías de peaje se construyen generalmente mediante un adelanto de fondos que se va amorti

zando con el cobro del peaje; pero a veces se utiliza el producto del peaje para construir otras vías o mejorar las existentes; es decir, para inversiones con "pago al día"

## 9. - DESARROLLO DE LAS CIUDADES

### a. Introducción

Uno de los aspectos importantes a considerar en el conocimiento del fenómeno urbano es el crecimiento o expansión en las áreas urbanas. Esta importancia se acrecienta en cuanto una ciudad alcanza determinada magnitud y su actividad industrial empieza a tener un rol importante, ya que se acelera el proceso de expansión urbano, presentando formas o patrones de crecimiento propios; en función de factores tales como la naturaleza interna de la ciudad, la dinámica y estructura urbana, las actividades económicas, la estructura ocupacional, las condiciones sociales, etc.

### b. Los problemas de la expansión urbana.

El crecimiento de una ciudad, en cuanto a ocupación del territorio, puede realizarse básicamente en dos formas; crecimiento dentro del área urbana y crecimiento en el área rural vecina.

b 1. El crecimiento dentro del área urbana de una ciudad se manifiesta en un aumento de la densidad de construcción, ya sea por ocupación del área libre interna de la ciudad o por el aumento de la densidad de las áreas edificadas.

Pasados ciertos límites, este crecimiento interno origina una serie de problemas, entre los que se puede señalar:

- deficiente accesibilidad debido a la congestión en el transporte y a la falta de

espacio para estacionamiento de vehículos.

- alto valor de la tierra urbana, lo que significa elevados costos de renovación urbana en condiciones desventajosas para la actividad económica competitiva de las empresas.

- composición especial urbana desordenada, y en muchos casos caótica, debido a la máxima explotación del suelo en algunos predios, al abandono de otros por la imposibilidad de realizar inversiones rentables.

- alto grado de contaminación ambiental, debido a la congestión de actividades.

- insuficiencia de los servicios públicos, proyectados el pasado para abastecer a volúmenes y/o densidades menores de población.

- la aparición de un área anular en deterioro o decadencia, que rodea el centro de la ciudad, debido a la no inversión en renovación del área. Esta situación de estancamiento obedece, entre otras razones, a la expectativa de los propietarios de ver involucrados sus predios en la expansión del centro obteniendo así cambios en el uso de la tierra y su consecuente revalorización.

La congestión entre otros factores ocasiona la migración de la población residente de mayor nivel a otras áreas, presentándose el fenómeno de tugurización del anillo. El estado de transición de unos usos del terreno a otros origina una mezcla de usos muchas veces incompatibles entre sí.

b 2. El crecimiento en las áreas rurales periféricas se realiza generalmente por una ocupación extensiva de suelo es decir, con baja densidad de construcción. Este crecimiento se da, en un primer momento, a lo largo de las vías de comunicación existentes y luego por el relleno de las áreas libres entre estas

vías.

Tanto en Lima como en otras ciudades, el crecimiento está orientado por un lado hacia la urbanización de propiedades agrícolas y por otro hacia la ocupación por invasión de tierras generalmente de propiedad fiscal.

Estas formas de ocupación del suelo generan una serie de problemas entre las que se puede indicar:

- alto costo de los servicios públicos dada la baja densidad de ocupación del suelo por el uso de áreas poco apropiadas para la rotación de servicios.
- reducción o desaparición de las áreas agrícolas vecinas a la ciudad con la consiguiente baja en la producción de alimentos para la creciente población de la ciudad. Para cubrir la demanda de la ciudad, los alimentos son importados de áreas más lejanas elevándose así los precios por los mayores costos de transporte y por el deterioro de los productos perecederos.
- la desaparición de las áreas libres de recreación que rodean la urbe.
- los altos costos de transporte urbano debido a las extensas e imaginarias redes de transporte.
- los largos viajes de las viviendas a los centros de trabajo o a las áreas de servicio, que significan en algunos casos un alto costo social.

Estos problemas se agudizan progresivamente llegando a producir "deseconomías de aglomeración" anulándose así las ventajas que proporcionan los procesos de concentración y urbanización.

### c. El crecimiento urbano.

Como también se ha dicho en clases anteriores las características y el ritmo de crecimiento de las actividades urbanas dan, a cada ciudad, una modalidad pro

pia de expansión.

Esta expansión es conocida por una serie de fuerzas o de grupos que interactuando establecen las tendencias del crecimiento, el que puede ser calificado de tener cierto grado de espontaneidad en su evolución.

Se puede afirmar que el crecimiento es más o menos espontáneo o más o menos inducido en función de que o quienes determinan la expansión urbana.

Los terminos de crecimiento espontáneo o crecimiento inducido en realidad constituyen los puntos extremos de una escala continua en la que se dan la mayoría de los casos, pero para estudiar el fenómeno de la expansión urbana es necesario establecer teóricamente dos categorías; que podrían definirse como:

c 1. Crecimiento espontáneo que se da por el libre juego de las fuerzas económicas y sociales dominantes, identificadas o no teniendo el Estado una débil o poca racional participación.

c 2. Crecimiento inducido, que está condicionado por una idea rectora pre concebida que regula las fuerzas del crecimiento urbano, existiendo una fuerte o bastante racional intervención del Estado.

d. - Los Modelos de Crecimiento Urbano.

Una forma de estudiar las soluciones de los problemas del desarrollo urbano es por medio de la construcción de modelos.

Estos modelos o representaciones imaginarias pueden ser agrupadas en dos categorías:

d 1. El modelo predicativo que estudia las tendencias naturales del crecimiento urbano y las proyecta al futuro. Estas proyecciones constituyen una ima-

gen probable de la ciudad.

d 2. El modelo normativo que en cambio consiste, en la determinación de la forma o modalidad de crecimiento que debe tomar la ciudad conforme a ciertas normas preconcebidas. El modelo constituye la integración de las metas que se propone alcanzar a fin de cumplir con ciertos objetivos del desarrollo urbano.

#### e. Los Tipos de Expansión Urbana

Los tipos o formas de la expansión urbana podrían ser estudiados clasificándolos en dos grandes grupos: la expansión espontánea y la expansión inducida, y dentro de éste último grupo podrían dividirse aun los que han correspondido a modelos predictivos o normativos. Pero como existe bastante coincidencia entre las formas de expansión espontánea y las de desarrollo extendido, y entre las formas de expansión inducida y las de desarrollo concentrado; se considera más conveniente analizarlas bajo la clasificación de desarrollo concentrado y desarrollo inducido, ya que ésta permite una mejor comprensión de los diversos tipos que presenta el crecimiento urbano.

Dentro de esta clasificación se puede identificar los siguientes tipos:

#### e 1. Desarrollo Concentrado

- a) El crecimiento restringido
- b) Las ciudades satélites
- c) Las nuevas ciudades (New Towns)
- d) Las nuevas ciudades independientes
- e) Las ciudades expansionadas
- f) El anillo de ciudades

g) Las ciudades en corredor

e 2. Desarrollo Extendido

a) Crecimiento diluido o disperso

b) Las comunidades perimetrales

c) La megalópolis

A continuación se indican, en forma esquemática las características de cada uno de estos tipos:

e 1. Tipos de Desarrollo Concentrado

el-1. El Crecimiento Restringido

Esta forma puede darse por el relleno interno de la ciudad, elevando así su densidad, o por la urbanización de las áreas periféricas con una alta o media densidad.

Sus principales ventajas son:

- Mejor aprovechamiento del espacio urbano, ya que en muchas ciudades hay derroche o desaprovechamiento del espacio.
- Limitación del tamaño de la ciudad, que se significa economía en transporte circulación y servicios públicos.
- Mayor disponibilidad o inafectación del área agrícola periférica.

Sus principales desventajas son:

- La dificultad de determinar el límite máximo de la ciudad en caso de gran aumento de población.

- La necesidad de un fuerte control del uso del suelo urbano, especialmente para evitar la urbanización en áreas fijadas como rurales.
- La necesidad de contrarrestar las presiones de grupos poderosos interesados en urbanizar tierras no urbanas, lo que en muchos casos lleva a considerar como política indispensable que el Gobierno posea las áreas a urbanizarse o se reserve la urbanización de éstas.
- La ciudad debe contar con amplios programas de renovación urbana para acondicionarla a los cambios que se producen dentro de sus áreas urbanas.
- Se da un considerable aumento del valor de la tierra urbana lo que origina altos costos de renovación urbana, afectando este fenómeno, muy especialmente, a la vivienda que debe dotarse a los sectores de población de bajos ingresos.

En realidad, es necesario destacar aquí, que estas ventajas y desventajas, señaladas a modo de ejemplo, no se dan en todos los casos. Mas aun, cada ciudad presenta un cuadro diferente en razón a su tamaño físico, su población, el medio geográfico en que se encuentra, etc.

Además el tipo de crecimiento restringido se puede adoptar diversas formas. La expansión puede ser circular, lineal, en estrella de mar, etc., con ventajas y desventajas propias.

Fuera del partido de crecimiento restringido, las otras alternativas de expansión concentrada se basan en la descentralización de la ciudad.



El ejemplo más importante de este planteamiento, por las experiencias tenidas, es el llevado en Inglaterra para la ciudad de Londres.

En la post guerra, con el propósito de descentralizar Londres se dan:

- El Plan del Gran Londres, de 1944
- La Ley de Nuevas Ciudades, de 1946, y
- La Ley de Desarrollo de Ciudades, de 1952 .

Los objetivos de estas medidas fueron de:

- a) dar alivio a la Metrópoli del congestionamiento que presentaba, por medio de la descentralización de población e industrias.
- b) orientar la descentralización prevista en nuevos asentamientos urbanos o en los ya existentes .
- c) ordenar especialmente la región metropolitana, estableciendo, entre otras cosas, un límite físico a las ciudades.
- d) mejorar las condiciones de vida dentro de las agregaciones.
- e) dar la oportunidad de prosperar a los pequeños pueblos y ciudades, en ese momento debilitados por la fuerza polarizante de la Metrópoli.

El Plan concebía la construcción de una serie de ciudades satélites de Londres y establecía el siguiente ordenamiento del espacio por círculos concéntricos:

- A. El círculo central urbano de Londres, con 11 km de radio considerado como el área urbana de Londres .
- B. El anillo sub-urbano, de 19 km de radio considerado para el crecimiento restringido de Londres.
- C. El Cinturón Verde (Green Belt) de 32 km de radio, donde la urbanización sería contenida.
- D. El área externa, a partir de los 32 km donde se ubicarían los nuevos pueblos y ciudades.

Hay que anotar que el Plan de Londres, bastante avanzado si consideramos la época de su formulación, no sólo concebía ciudades satélites, sino también se proponía:

- a) desarrollar ciudades de tamaño medio
- b) desarrollar ciudades pequeñas y pueblos

- c) construir nuevas ciudades .

Tales aspiraciones, serían concretadas en planes detallados en base a:

- a) el estudio de la población a descentralizar
- b) la determinación de las distancias convenientes de las nuevas urbes a la Metrópoli y a los otros centros
- c) el análisis de la población receptora, en los casos necesarios
- d) la elección del sitio
- e) el análisis de las industrias a descentralizar
- f) la forma de llevar a cabo el traslado de la población y actividades

En base a la experiencia inglesa y a otras más recientes, es posible identificar los siguientes tipos de expansión concentrada:

#### ci-2 Las ciudades Satélites

En un comienzo, en Inglaterra, se construyeron aceleradamente ciudades satélites, la mayoría de las cuales ubicadas en el cinturón verde.

En los últimos años se ha discutido bastante sobre la efectividad de las ciudades satélites, existiendo un fuerte consenso en considerar que no han cumplido los fines para lo que se fueron creadas.

Las razones principales esgrimidas son:

- a) La dificultad de ofrecer trabajo, dentro de la ciudad, a sus habitantes. El tamaño reducido de la ciudad permitió el asentamiento de un número reducido de industrias, las que fueron afectadas por las ventajas comparativas que existía en la ubicación de industrias en Londres .
- b. - La falta de oportunidades de trabajo hace difícil la estructuración de las actividades locales y la vida cultural de la ciudad.  
El fenómeno se va acentuando cuando gran parte de la población

trabaja en la Metrópoli. En algunos casos la baja densidad de

la ciudad satélite no contribuye a facilitar el intercambio social.

- c) La fuerza atractiva de la ciudad principal, limita el desarrollo autónomo de sus satélites, influyendo en los siguientes aspectos:
- Generalmente la población que se traslada a la ciudad satélite lo hace en función de su necesidad de vivienda, sin tener en cuenta el tipo de oportunidades de trabajo que la ciudad pueda brindar. La cercanía de la ciudad principal da a ésta mayores ventajas originadas por la economía de aglomeración, las que no son contrarrestadas por las ventajas de mano de obra barata, servicios más económicos, menos costo de la tierra, facilidad de transporte, etc., que la ciudad satélite ofrece.
  - Finalmente, la ciudad satélite se convierte en una "ciudad dormitorio" demasiado alejada de la Metrópoli para cumplir eficientemente con este fin. Esto determina, en algunos casos, el abandono del lugar por grupos de población.

### c1-3 Las Nuevas Ciudades (New Towns)

Estas ciudades han constituido una exitosa experiencia de la Planificación Urbana Inglesa. Están situadas a mayor distancia de Londres que las satélites, unos 40 km de promedio y planeadas como un organismo. Por su distancia, población e industrias no constituyen ya ciudades dormitorio.

Su población variaba entre 50,000 y 200,000 habitantes. Han desarrollado industrias en base a parques industriales, a la mayor posibilidad de elección de trabajo y a una mayor distancia de la Metrópoli.

Algunas desventajas son

- Se mantiene aún la poca variedad en la oferta de trabajo
- En la etapa inicial de desarrollo es una ciudad desolada. No presenta gran actividad en su centro.
- La ciudad requiere, durante un largo período de años, de un gran esfuerzo de su organismo creador.
- La todavía gran especialización de la población no favorece la diversidad de la vida cultural que es necesaria para lograr una ciudad atractiva.

Entre sus ventajas se puede señalar:

- Con relación a la metrópoli ofrece bajos costos de la tierra, facilidad de circulación, áreas verdes, mayor integración social de la población.

#### el-4 Las Nuevas Ciudades Independientes

Son ciudades de 300,000 habitantes a 100 km de la ciudad principal. Las ciudades con ese tamaño y a esa distancia no presentan las ventajas de la ciudad Satélite y del "New Town".

Sus desventajas son:

- Su construcción requiere de un gran período de tiempo, que puede ser de 20 a 40 años.
- Requiere, además, de nuevas formas de organización político-administrativa para desarrollar un gran y prolongado esfuerzo financiero y de construcción.

Dentro de este tipo se podría incluir la creación de una nueva ciudad capital, como es el caso actual de Brasilia, y en el caso de Alejandría, Washington. Esta forma de descentralización requiere aún de mayores esfuerzos de orden nacional.

#### el-5 Las Ciudades Expansionadas

También en Inglaterra, se llevó a cabo el fortalecimiento de ciudades existentes a distancias entre los 60 y 127 kms.

Con respecto a este tipo de expansión tenemos algunas ventajas:

- La existencia de una organización y servicios .
- Cierta grado de actividad cultural y económica , por lo que se requiere menores esfuerzos para su desarrollo .

Entre los defectos de esta alternativa se podría citar:

- La necesidad de hacer, en determinados casos, grandes obras de renovación urbana.
- La existencia de estructuras sociales poco dispuestas al cambio.
- Mayor precio de la tierra que en las ciudades nuevas.

Una variante de este tipo, señala que es el reformamiento de pequeñas comunidades más cercanas a la ciudad y que se encuentran en forma dispersa, ubicando en ellas industrias u otras actividades económicas.

Sus ventajas son:

- Pequeño costo inicial de desarrollo
- Mejor aprovechamiento de los productos agrícolas para su industrialización.
- Menores costos de transporte a la Metrópoli .

Però, por otro lado, tiene las desventajas que presentan las ciudades Satélites y los New Towns.

#### el-6 El Anillo de Ciudades

es un partido similar al de los New Towns ingleses, en el que se promueve una comunicación en anillo entre las nuevas ciudades.

Esta alternativa requiere de.

- Un riguroso control del uso del suelo si las ciudades son muy cercanas a la Metrópoli.
- Buena comunicación entre ellas y el resto del país para que el sistema sirva de un escalón intermedio entre la Metrópoli y el país.

En Holanda se ha planeado esta solución en gran escala para.

- dar mayor eficiencia al sistema urbano por la especialización de cada ciudad.
- reducir los gastos de infraestructura vial
- la conservación de las áreas agrícolas .
- facilitar el acceso de las ciudades al campo .

En este tipo de concentración urbana influye grandemente el factor geográfico.

#### el-7 El Corredor Radial o Línea:

Consiste en desarrollar la ciudad por la agregación de centros a lo largo de una ruta o rutas.

Sus ventajas son:

- la utilización de sistemas masivos de transporte
- la penetración a la ciudad por vías expresas .
- la fácil comunicación entre centros, entre la ciudad y los centros, y entre los centros y la región
- el campo puede penetrar hasta la ciudad principal facilitando el aprovechamiento de productos agrícolas y la recreación campesina de la población urbana.

Entre sus defectos se puede mencionar.

- se requiere de un adecuado diseño de la circulación para evitar mezclas de tránsito local con tránsito interurbano y regional.

- se necesita un eficiente sistema de planificación urbana y de control de uso del suelo

## e 2. - El Desarrollo Extendido .

### e2-1 El crecimiento diluido o disperso

Puede darse como una expansión diluida, de baja densidad, es decir, menos de 100 habitantes por hectáreas, dando origen a extensos suburbios de viviendas unifamiliares o como un conglomerado urbano, con diversas densidades, donde se mezclan actividades en un caótico uso del suelo.

Sus múltiples desventajas son conocidas, pero entre ellas se puede destacar :

- El sistema de circulación radial produce desequilibrio entre centro y periferia.
- Se presenta una gran fricción espacial, lo que significa costos elevados de transporte y pérdida de tiempo en el tránsito.
- La especulación con la tierra urbanizable.
- El alto costo del suelo en las áreas centrales .
- Las diseconomías de aglomeración que afectan a las actividades.

Esta solución es posible o justificable en ciudades pequeñas donde no hay perspectivas de un gran crecimiento.

### e2-2 Las Comunidades Perimetrales

Experimentando en el caso de Estocolmo, consiste en crear núcleos de mayor densidad en el perímetro de la Metrópoli.

En comparación con el crecimiento diluido presenta las siguientes ventajas:

- Permitir un mejor sistema de transporte,
- Facilita la organización del uso del suelo,

Permanecen con defectos:

- La necesidad de circulación radial y anular dentro del área urbana.
- La falta de espacios libres internos .

### e2-3 La Megalópolis

Llamada también Galaxia, es un conglomerado de centros urbanos de diferentes tamaños en completa continuidad . La urbanización se extiende por muchos kilómetros, como en el caso de los Estados Unidos en la región entre Boston y Washington .

Los problemas de la expansión extendida se multiplica y en algunos casos sus crecimiento es en proporción geométrica.

#### f. - La elección de alternativas de expansión

El plan de Desarrollo Urbano que estudie la expansión de una ciudad mediana o grande, debe presentar una serie de alternativas de crecimiento.

Estas alternativas pueden ser evaluadas por medio de un cuadro de ventajas.

Se señalan los tipos a estudiar y se les analiza a través de una serie de factores. Si se da una calificación a cada factor, se pueden tener valores cuantitativos que representen la conveniencia de una alternativa sobre las otras.



## 10. - BIBLIOGRAFIA

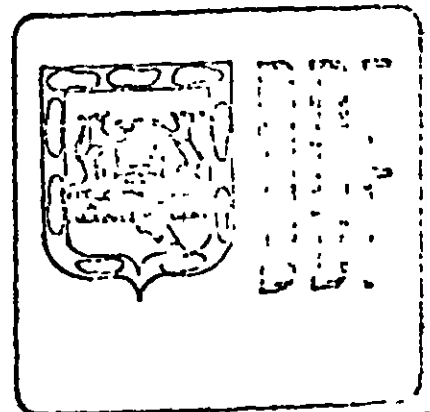
1. - Rafael Cal y Mayor, I. C. , I. T. , Ingeniería de Tránsito. Editorial: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A. , México. 1972 .
2. - Antonio Valdés, Ingeniería de Tráfico . Editorial:Dossat,S. A. , Madrid 1971.
3. - Guido Radelat Egües, Manual de Ingeniería de Tránsito, International Road Federation. Editorial: Talleres Gráficos Mundial,S. R. L. Buenos Aires, Argentina. 1964 .
4. - J. Antonio Malacón Díaz, Ing. , Normas de Proyecto Geométrico para Vialidad Urbana. VI Seminario de Ingeniería de Tránsito. México 1974.
5. - American Association of State Highway Officials. A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets. Washington. 1973 .
6. - Institute of Traffic Engineers. System Considerations for Urban Arterial Streets. Washington. 1969 .
7. - Institute of Traffic Engineers. Tentative Standards for Subdivision Streets. Washington. 1964
8. - National Committee on Urban Transportation. Standards For Street Facilities and Services. Chicago, Illinois. 1958.
9. - Institute of Traffic Engineers. Pedestrian Malls. Washington. 1966 .
10. - California Department of Transportation. Highway Project Development . Bike Routes. Los Angeles, Cal. 1974 .
11. - Arthur B Gallion. - Urbanismo Planificación y Diseño. -Compañía Editorial - Continental, S. A. - 1960 .
12. - Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social. Discusiones - sobre Planificación. Editorial Siglo XXI. 1975 .



DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTES  
Y  
DIRECCION GENERAL DE POLICIA Y TRANSITO.

NORMAS DE PROYECTO PARA  
ESTACIONAMIENTOS

México, D.F., Junio de 1974



DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
Dirección General de Ingeniería de Tránsito y Transportes  
Y  
DIRECCION GENERAL DE POLICIA Y TRANSITO.

NORMAS DE PROYECTO PARA ESTACIONAMIENTOS

Ing. Enrique Salcedo Martínez  
Ing. Fernando Lomelí Corona

México, D. F., Junio de 1974

# C O N T E N I D O

INTRODUCCION	1
A.- INFORMACION BASICA	2
1.- Antecedentes de estacionamientos en la Ciudad de México	2
2.- Inventario de Estacionamientos	2
3.- Medición de la demanda	3
4.- Análisis del automóvil tipo en el D. F.	3
B.- PROYECTO GEOMETRICO	12
1.- Dimensiones mínimas para cajones de estacionamiento	12
2.- Dimensiones mínimas para los pasillos y áreas de maniobra	14
3.- Medios de circulación vertical	16
4.- Areas de espera	20
5.- Entradas y salidas	23
6.- Señalamiento	23
C.- OTRAS NORMAS	23
D.- RECOMENDACIONES GENERALES	27

## INTRODUCCION

La creciente demanda de espacios para estacionamiento, consecuencia del incremento acelerado del número de vehículos en el área metropolitana, ha originado la necesidad cada vez más apremiante de construcción de nuevos edificios y acondicionamiento de lotes para satisfacer dicha demanda.

A fin de que los aspectos técnicos relativos al proyecto de estacionamiento se resuelvan adecuadamente, se ha visto la necesidad de contar con normas que sirvan de orientación en el proyecto de elementos tales como entradas y salidas, espacios de circulación, espacios para estacionamiento, pendientes de las rampas, etc.

Es de descarse que la aplicación de estas normas facilite la labor de los proyectistas con resultados más favorables en cuanto al aprovechamiento y funcionalidad de las áreas destinadas al estacionamiento de vehículos, a la disminución de accidentes y a la mayor comodidad del público.

Las normas que se presentan a continuación estarán sujetas a revisiones posteriores, de acuerdo con las variaciones que se vayan observando en las dimensiones de los automóviles y de los avances de la técnica en materia de estacionamientos.

## A.- INFORMACION BASICA

### 1.- Antecedentes de estacionamientos en la Ciudad de México

En el año de 1940 se estableció el primer estacionamiento de paga en un lote ubicado en el número 9 de la calle de San Juan de Letrán. La tarifa era de \$0.20 por la primera hora y \$0.10 por cada hora adicional.

En 1942 se habilitó otro lote, ubicado en el número 47 de la calle de - Balderas. En 1946 se puso al servicio público el sótano del predio número 28 de la calle de José M<sup>a</sup>. Marroqui, los lotes de Rep. de Cuba número 68, Donceles 42 y otros, siendo los lotes el tipo de estacionamientos que en -- forma más rápidamente se multiplicó.

El primer edificio especial para estacionamiento se construyó en Gante 12, e inició su operación en 1938, fué el único durante varios años.

Por Decreto Presidencial del 31 de diciembre de 1946 se puso en operación el primer estacionamiento del sector público, siendo éste administrado por el Instituto Nacional de Bellas Artes y ubicado en la periferia del Palacio de las Bellas Artes, donde aún funciona.

Posteriormente el Departamento del Distrito Federal inició la prestación del servicio con varios lotes de estacionamiento, los cuales actualmente son manejados a través de concesionarios bajo la supervisión de la Contraloría General del propio Departamento. Estas concesiones operan, en su mayor -- parte, a partir de 1968. Además, se han creado varios estacionamientos - gratuitos en predios propiedad de diversas dependencias del sector público.

### 2.- Inventario de Estacionamientos

A diciembre de 1973 operan en el Distrito Federal los siguientes estacionamientos de paga, incluyendo del sector privado y del sector público:

<u>Número</u>	<u>Tipo</u>	<u>Capacidad</u>
64	De primera categoría (edificios)	17,105 espacios
40	De segunda categoría (subterráneos y azotcas)	3,412 "
341	De tercera categoría (lotes)	20,051 "
<u>445</u>	S U M A	<u>40,568 espacios</u>

### 3.- Medición de la demanda

En un estudio hecho en 1971, en el centro de la ciudad (1), comprendiendo la zona de mayor concentración de comercios, bancos, edificios gubernamentales, edificios de despachos, hoteles, etc., se vió que en un momento dado estaban estacionados 76,000 vehículos, de los cuales -- 28,000 hacían uso de estacionamientos de paga o particulares, fuera de la vía pública y 48,000 usaban la vía pública. A estos habría que agregar los que andaban circulando en busca de espacios donde parar. Por lo tanto es posible que la demanda real de estacionamiento esté cercana a los 80,000 espacios de estacionamiento en esa zona.

Si en todo el Distrito Federal se cuenta con 40,000 espacios para estacionamiento se deduce que el déficit es, cuando menos, de 40,000 espacios o sea otro tanto igual a lo existente.

Este desequilibrio entre la oferta y la demanda ha ido agudizándose a través de los años y repercute directamente en el uso indiscriminado de la vía pública. La presión de la demanda ha llegado a tal grado que se ha generalizado la costumbre de violar las restricciones de estacionamiento establecidas en muchas calles de la ciudad, con los consiguientes efectos negativos de reducción en la capacidad, congestionamientos, protestas de usuarios y mala imagen de la autoridad.

### 4.- Análisis del automóvil tipo en el Distrito Federal

Entre 1960 y 1972 se vendieron en la República Mexicana 1,120 212 automóviles. En la tabla 1 se indica la venta anual, por empresa y marcas, en ese período. En la tabla 2 se indican los totales de esas cifras y el -- porcentaje por marcas.

De acuerdo con los datos de la tabla 2, en la tabla 3 se hace una -- clasificación por tipo de automóviles (grandes, medianos y chicos). Los -- automóviles grandes con longitudes mayores de 5.10 m, los medianos con longitudes entre 5.10 y 4.45 m y los chicos con longitudes menores de -- 4.45 m. De esta última tabla se obtienen los porcentajes por tipo de auto -- móviles, resultando lo siguiente:

---

(1) Zona limitada, al norte por las calles de Nardo, Manuel González y Canal del Norte; al sur por las calles de Baja California y Av. Central; al oriente por las calles de Francisco Morazán, Imprenta e Inguaián; y al poniente por las calles de Río Consulado, Melchor Ocampo, Rfn y Orizaba.



**TABLA I**

**VENTA ANUAL DE AUTOMOVILES POR EMPRESAS Y MARCAS 1960-1972 (1)**  
**EN LA REPUBLICA MEXICANA**

EMPRESAS Y MARCAS	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
<b>FABRICAS AUTOMEX, S. A.</b>	3 889	4 349	5 039	10 154	13 830	20 271	18 500	19 712	19 682	23 101	25 566	22 921	25 015
Barracuda	---	---	---	---	55	1 553	550	732	1 344	974	2	---	---
Dodge	864	774	123	1 423	1 643	---	---	---	---	---	---	---	---
Dodge Dart	---	58	1 033	2	336	4 565	3 077	4 215	5 735	8 659	9 715	9 277	10 631
Dodge Coronet	13	---	---	340	704	3 630	4 335	3 137	3 955	3 703	3 070	939	---
Dodge Monaco	---	---	---	---	---	---	---	---	---	94	3 962	2 335	2 790
Charger	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	634	1 765	1 149
Plymouth	631	832	1 429	2 535	2 220	10	2 595	2 696	2 360	1 656	13	---	---
Vallant	381	1 698	2 334	5 854	8 872	10 513	7 921	8 932	6 288	7 498	5 643	6 530	9 945
Vallant Super Bee	---	---	---	---	---	---	---	---	---	277	2 477	2 135	---
Otros	2 000	937	120	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>FORD MOTOR COMPANY, S. A.</b>	6 875	5 931	7 715	11 070	13 762	12 998	17 738	17 211	20 569	21 752	22 781	24 751	25 877
Ford Falcon (200)	---	2 071	3 946	5 679	7 193	5 644	8 251	8 022	9 747	9 038	4 691	216	---
Ford Galaxie	2 463	1 979	2 519	4 468	6 575	5 053	6 654	6 230	7 657	8 951	9 454	10 475	10 313
Ford Maverick	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3 899	8 773	11 154
Ford Mustang	---	---	---	---	---	2 301	2 833	2 989	3 135	3 763	4 737	5 287	4 410
Otros	4 412	1 881	1 250	923	14	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>GENERAL MOTORS DE MEXICO, S. A. de C. V.</b>	6 899	7 764	8 289	9 421	12 564	9 765	12 502	12 088	13 698	13 523	13 141	13 838	13 606
Chevrolet-Chevle	2 567	3 045	3 393	4 536	7 364	5 090	7 125	4 017	4 294	4 739	5 265	6 644	6 224
Impala	---	---	---	---	---	746	5	2 224	3 322	3 200	2 584	2 977	3 180
Opel	2 276	3 677	4 884	4 888	5 200	3 923	5 370	5 847	6 082	5 584	5 292	4 217	3 163
Otros	2 056	1 042	12	---	---	6	2	---	---	---	---	---	1 039
<b>NISSAN MEXICANA, S. A. de C. V.</b>	1 149	557	1 233	1 603	2 489	893	1 325	5 277	6 743	9 753	11 657	14 223	17 054
Datsun	1 149	557	1 233	1 603	2 489	893	1 325	5 277	6 743	9 753	11 667	14 223	17 054
<b>VEHICULOS AUTOMOTORES MEXICANOS, S. A. DE C. V.</b>	322	1 052	1 160	2 139	3 256	4 243	7 426	6 988	9 277	9 872	12 039	12 532	13 982
Rambler American	322	1 052	1 160	1 243	2 296	2 487	5 022	4 539	5 575	6 585	8 191	9 339	11 489
Rambler Classic	---	---	---	856	960	1 756	2 404	2 449	2 437	2 063	2 496	1 861	1 476
Javelin	---	---	---	---	---	---	---	---	1 265	1 224	1 352	1 332	1 017
<b>VOLKSWAGEN DE MEXICO, S. A. DE C. V.</b>	2 379	2 878	3 287	5 984	8 386	12 949	17 210	19 093	22 225	25 798	35 485	47 701	53 691
Volkswagen 113	2 379	2 878	3 287	5 984	8 386	12 949	17 240	19 093	22 225	25 798	35 234	43 983	53 601
Volkswagen 181	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	251	3 721	---
<b>WHEEL NACIONAL, S. A.</b>	5 736	9 003	8 371	6 508	5 152	4 802	6 401	6 774	8 422	10 055	11 847	12 557	14 460
Fiat	3 744	2 634	2 274	1 429	5	3	---	---	---	---	---	---	---
Renault	1 992	6 369	6 097	5 109	5 147	4 714	6 282	6 735	8 371	9 913	11 748	12 479	14 460
Dinipin	---	---	---	---	---	85	119	39	51	142	99	78	---
<b>OTRAS EMPRESAS QUE YA NO FABRICAN ACTUALMENTE</b>	4 903	7 812	6 069	2 380	1 784	981	---	---	1 403	854	356	---	---
<b>TOTAL AUTOMOVILES</b>	<b>32 152</b>	<b>39 346</b>	<b>41 163</b>	<b>49 252</b>	<b>61 243</b>	<b>66 902</b>	<b>81 132</b>	<b>87 173</b>	<b>102 019</b>	<b>114 708</b>	<b>132 882</b>	<b>148 526</b>	<b>163 673</b>

(1) FUENTE: La Fábbrica Automotriz de México en cifras. Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A. C. 1972.

T A B L A 2

5.-

VENTA TOTAL DE AUTOMOVILES DE 1960 A 1972 Y PORCENTAJES POR MARCAS

EMPRESAS Y MARCAS	TOTAL DE 1960 A 1972	%
FABRICAS AUTOMEX, S. A.	212029	18.90
Linacuda	5 210	0.46
Dodge	4 827	0.43
Dodge Dart	57 555	5.15
Dodge Coronet	23 826	2.12
Dodge Mónaco	9 181	0.82
Charger	3 538	0.32
Plymouth	16 987	1.52
Valiant	82 409	7.36
Valiant Super Bee	4 889	0.44
Otros	3 107	0.28
FORD MOTOR COMPANY, S. A.	200 080	18.70
Ford Falcon (200)	61 498	5.76
Ford Galaxie	82 821	7.40
Ford Maverik	23 826	2.14
Ford Mustang	29 455	2.64
Otros	8 480	0.76
GENERAL MOTORS DE MEXICO S. A. DE C.V.	147 101	13.05
Chevrolet Chevelle	64 303	5.74
Impala	18 238	1.63
Opel	60 423	5.40
Otros	3 098	0.28
NISSAN MEXICANA, S. A. DE C.V.	73 966	6.61
Datsun	73 966	6.61
VEHICULOS AUTOMOTORES MEXICA NOS S. A. DE C.V.	84 288	7.53
Rambler American	59 300	5.30
Rambler Classic	18 798	1.68
Javelin	6 190	0.55
VOLKSWAGEN DE MEXICO, S. A. DE C.V.	257 092	23.00
Volkswagen 113	253 120	22.65
Volkswagen 181	3 972	0.35
DIESEL NACIONAL, S. A.	110 118	9.85
Fiat	10 089	0.90
Renault	99 416	8.89
Dmalpin	613	0.06
OTRAS EMPRESAS QUE YA NO FABRICAN ACTUALMENTE	96 542	2.37
<b>TOTAL AUTOMOVILES</b>	<b>1,120 212</b>	<b>100.00</b>

6.-

T A B L A 3

PORCENTAJE DE AUTOMOVILES GRANDES, MEDIANOS Y CHICOS QUE  
TUVIERON MAYORES VENTAS DE 1960 A 1972 Y SUS DIMENSIONES

AUTOMOVILES GRANDES

M A R C A	%	D I M E N S I O N E S	
		longitud (l) (m)	anchura (a) (m)
Dodge Coronet	2.12	5.30	1.90
Plymouth	1.52	5.35	2.00
Galaxie	7.40	5.50	2.00
Impala	1.63	5.58	2.00
	12.67	5.40 (1)	1.98 (1)

AUTOMOVILES MEDIANOS

M A R C A	%	D I M E N S I O N E S	
		longitud (l) (m)	anchura (a) (m)
Dodge y Dodge Dart	5.58	5.05	1.80
Valiant y Super Bee	7.80	5.05	1.75
Ford Falcon	5.76	4.85	1.80
Ford Maverik	2.14	4.80	1.80
Ford Mustang	2.64	4.95	1.90
Chevrolet Chevelle	5.74	5.00	1.85
Opel	5.40	4.65	1.75
Rambler American	5.30	4.75	1.80
Rambler Classic	1.68	5.00	1.95
	42.04	4.91 (1)	1.80 (1)

AUTOMOVILES CHICOS

M A R C A	%	D I M E N S I O N E S	
		longitud (l) (m)	anchura (a) (m)
Datsun	6.61	4.15	1.55
Volkswagen	22.65	4.00	1.55
Renault	8.89	4.40	1.60
	38.15	4.12 (1)	1.56 (1)

Otros

7.11%

Tipo de automóviles	Porcentaje	Porcentaje ajustado
Grandes	12.67	15
Medianos	41.17	45
Chicos	38.15	40
Otros	8.01	-
<b>T o t a l</b>	<b>100.00</b>	<b>100</b>

De los automóviles registrados en el país en 1972 correspondieron al Distrito Federal 728,519 automóviles (48%) y el Estado de México 47,751 (3.1%) (1); la suma de automóviles en estas dos entidades representa el 51.1%, o sea más de la mitad del total de automóviles que circulan en la República Mexicana. Se tomó en cuenta el número de automóviles del Estado de México, ya que tienen influencia en la Ciudad de México, por su cercanía.

Si de los 1 120, 212 automóviles vendidos en el período citado, el principal mercado fué el Distrito Federal junto con el Estado de México, de acuerdo con los datos estadísticos antes mencionados se puede considerar que los porcentajes obtenidos por tipo de automóviles es aplicable al Distrito Federal en forma aproximada.

En la tabla 4, se indican los automóviles chicos y el total vendido en el período de 1960-1972, en la República Mexicana. Con base en estos datos se trazó la gráfica 1 y se extrapola al año de 1983. En la tabla 5, se hace un resumen de los automóviles chicos vendidos en los períodos de 1960-1972 y pronosticados de 1973 a 1983.

El resultado de la tabla 5 es de que para 1983, el porcentaje de automóviles chicos será del 59.8% o sea más de la mitad de los automóviles que circularán en la ciudad de México.

El resultado anterior se puede comparar con la investigación hecha en los E. U. A., de que para ese país, que actualmente tiene el 35% de automóviles chicos, en el año de 1980 pronostican que tendrá el 70% de dichos vehículos (2).

(1) Fuente: Dirección General de Estadística, S. I. C.

(2) Richard F. Roti, The Coming Change In Passenger Cars. Its Effects On Parking. Design And Investment, Página 24. Editorial National Parking Association; Los Angeles, California. EUA.

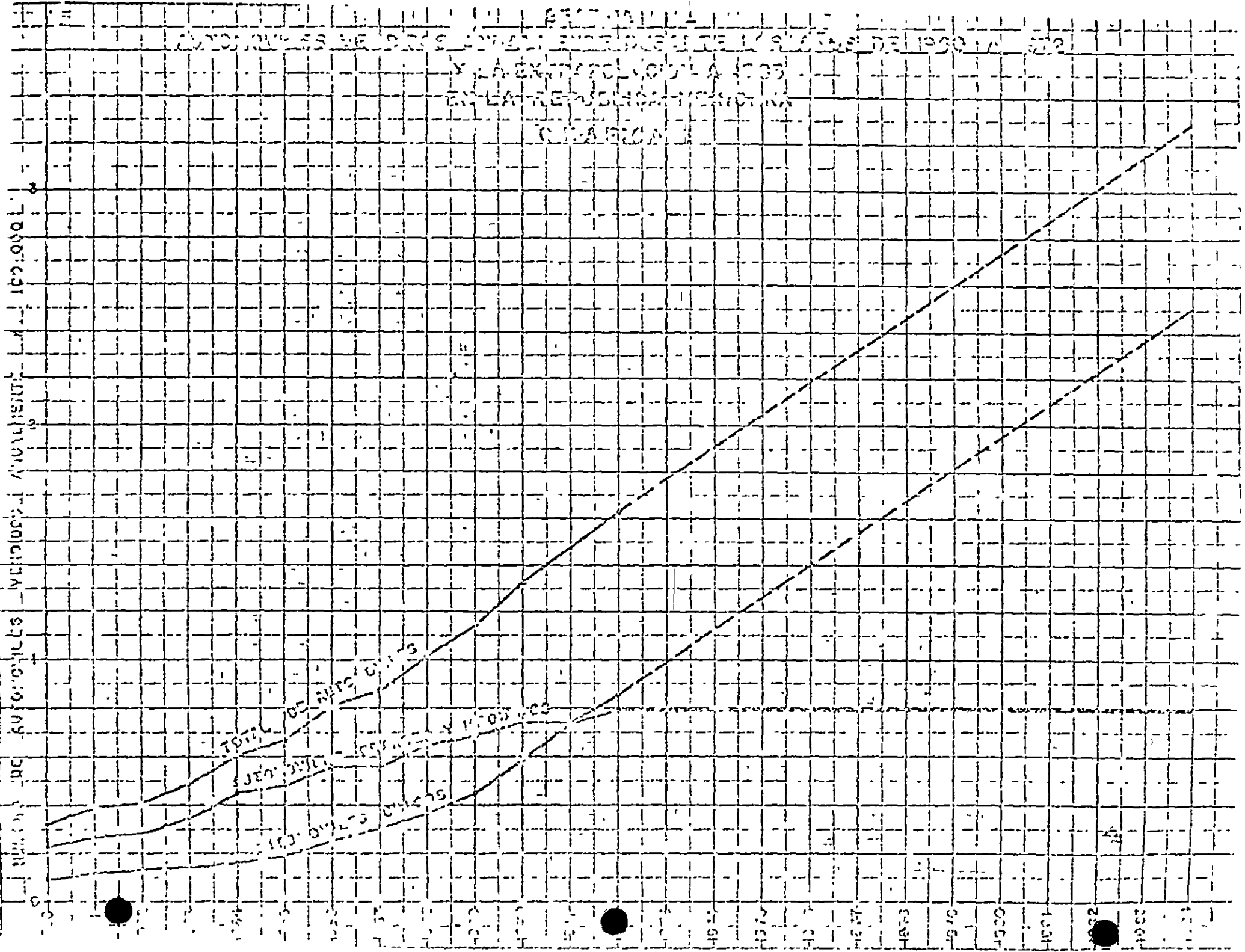
AUTOMOVILES VENDIDOS ANUALMENTE DURANTE LOS AÑOS DE 1960 A 1972  
EN LA REPUBLICA MEXICANA (1)

A Ñ O	CHICOS (2)	TOTAL (2)
1960	9264	32152
1961	12438	39346
1962	12881	41163
1963	14128	49292
1964	16027	61243
1965	18644	66902
1966	24966	81132
1967	31144	87173
1968	37390	102019
1969	45606	114708
1970	58999	132882
1971	74484	148526
1972	85198	163678
Total	441166 (39.4%)	1,120,212

(1) Fuente: "La Industria Automotriz de México en Cifras". Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A. C. 1972. Páginas 45 y 46 .

(2) De la tabla I.

ESTADÍSTICA DE LOS PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE LA SEDA EN MEXICO  
 Y LA EXPORTACION A LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA  
 EN LA REPUBLICA MEXICANA  
 CUERPO DE ESTADISTICA



T A B L A 5

AUTOMOVILES VENDIDOS DURANTE LOS AÑOS DE 1960 A 1972 Y PRONOSTICADOS DESDE 1973 A 1983.

A Ñ O	CHICOS	TOTAL
1960 a 1972	441,166 (39.4%) (1)	1,120,212 (1)
1973 a 1983	1,815,000 (2)	2,651,000 (2)
TOTAL	2,256,166 (59.8%)	3,771,212 (100%)

(1) Tabla 4

(2) Gráfica 1

Por lo tanto, para el proyecto de futuros estacionamientos se podrá tomar en cuenta el porcentaje de automóviles chicos. Es decir, el diseño de los espacios para los cajones y pasillos de circulación podrá admitir hasta un máximo de un 40% (actual, en cifras cerradas) a un 60% (futuro), del número de cajones destinados a automóviles chicos.

En vista de lo anterior se podrá autorizar a los estacionamientos el tener un porcentaje máximo de cajones para automóviles chicos en relación con el total de cajones conque cuente el mismo, de acuerdo con la tabla siguiente, siempre y cuando se proyecten y controlen en forma separada, con el fin de que no sean usados estos cajones por automóviles medianos o grandes.

A Ñ O	% máximo de cajones para automóviles chicos, en relación con el total de cajones.
1973	40
1974	42
1975	44
1976	46
1977	48
1978	50
1979	52
1980	54
1981	56
1982	58
1983	60

NOTA.- Esta tabla está sujeta a ajustes, que serán determinados por el Departamento del Distrito Federal.



## PROYECTO GEOMETRICO

### 1.- Dimensiones mínimas para cajones de estacionamiento

En la tabla 3 se indican las dimensiones de los automóviles calculados con promedios ponderados. Se incrementaron estos valores a la decena inmediata superior para facilitar su aplicación siendo los resultados los siguientes:

Tipo de automóvil	Dimensiones en metros	
	Longitud (l)	Anchura (a)
Grande	5.5	2.0
Mediano	5.0	1.8
Chico	4.2	1.6

Para calcular la longitud (L) y la anchura (A) para un cajón de estacionamiento en función de la longitud (l) y de la anchura (a) del automóvil representativo, se emplearon las fórmulas siguientes: (1)

$$L = l + m$$

$$A = a + n$$

Donde m es el espacio longitudinal y n el espacio lateral que debe quedar entre dos automóviles estacionados.

Cuando la disposición del estacionamiento es en batería el valor de m = 0 y si es en cordón m = 0.6 m.

El valor de n en batería es de 0.6 m. Cuando el estacionamiento es en cordón, n = 0.4 m.

---

(1) Ing. Guido Radelat Egües, Manual de Ingeniería de Tránsito, Pág. 373, Editorial Talleres Gráficos Mundial, S.R.L. Buenos Aires, Argentina. 1964.

TABLA 6

DIMENSIONES MINIMAS DE LOS CAJONES PARA ESTACIONARSE

CLASIFICACION	MANERA DE ESTACIONARSE	DIMENSIONES DEL CAJON
AUTOMOVILES GRANDES	Baterfa	$L=5.5 + 0 = 5.5 \text{ m}$ $A=2.0 + 0.6=2.6 \text{ m}$
	En cordón	$L=5.5 + 0.6 = 6.1 \text{ m}$ $A=2.0+0.4 = 2.4 \text{ m}$
AUTOMOVILES MEDIANOS	Baterfa	$L=5.0 + 0 = 5.0 \text{ m}$ $A=1.8 + 0.6 = 2.4 \text{ m}$
	En cordón	$L=5.0 + 0.6 = 5.6 \text{ m}$ $A=1.8 + 0.4 = 2.2 \text{ m}$
AUTOMOVILES CHICOS	Baterfa	$L=4.2 + 0 = 4.2 \text{ m}$ $A=1.6 + 0.6 = 2.2 \text{ m}$
	En cordón	$L=4.2 + 0.6 = 4.8 \text{ m}$ $A=1.6 + 0.4 = 2.0 \text{ m}$

Aplicando las fórmulas y valores anteriores, se obtiene la tabla --  
6. Analizando los resultados de las dimensiones de los cajones de la  
tabla 6 y tomando en cuenta los porcentajes de los tipos de automóviles  
que existen actualmente, se obtuvieron como dimensiones generales las  
indicadas en la tabla 7.

TABLA 7

DIMENSIONES MINIMAS DE LOS CAJONES

Tipo de automóvil	Dimensiones del cajón en metros	
	En batería	En cordón
Grandes y medianos	5.0 x 2.4	6.0 x 2.4
Chicos	4.2 x 2.2	4.8 x 2.0

2.- Dimensiones mínimas para los pasillos y áreas de maniobra

Las dimensiones mínimas para los pasillos de circulación dependen  
del ángulo de los cajones de estacionamiento. Los valores mínimos de  
la tabla 8 son los recomendables.

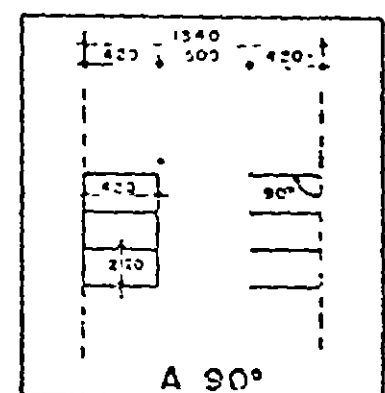
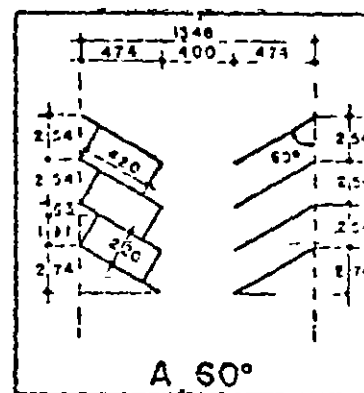
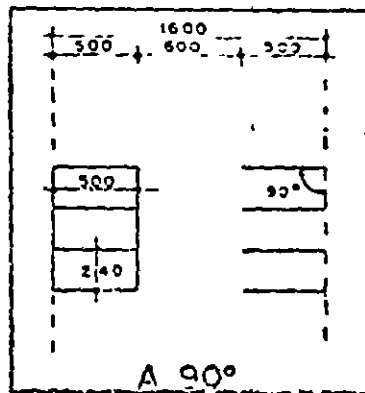
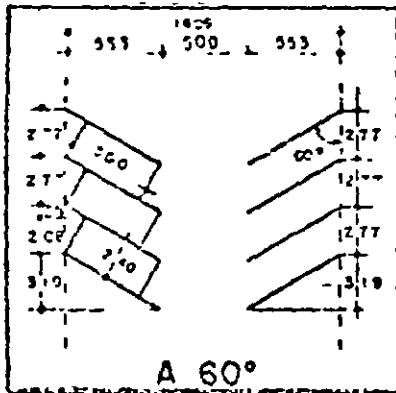
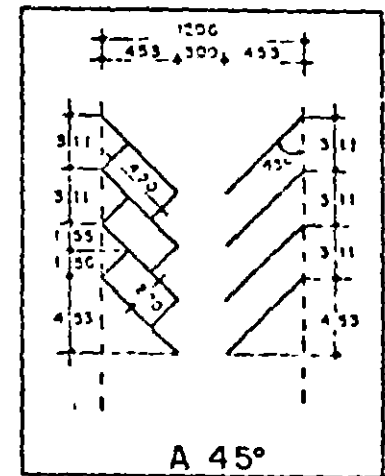
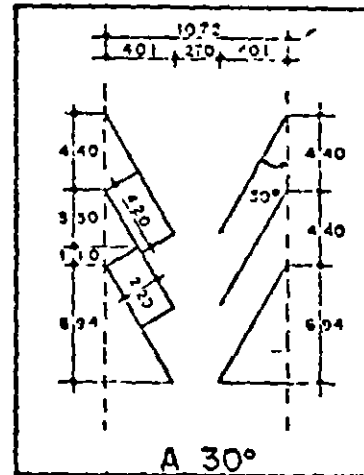
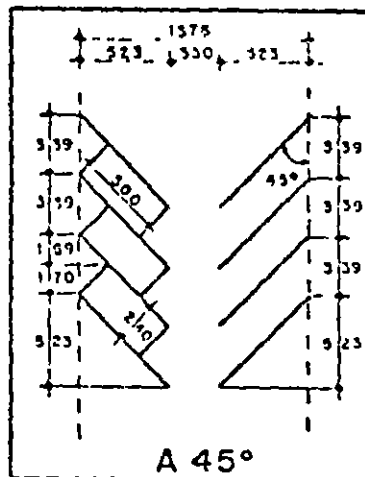
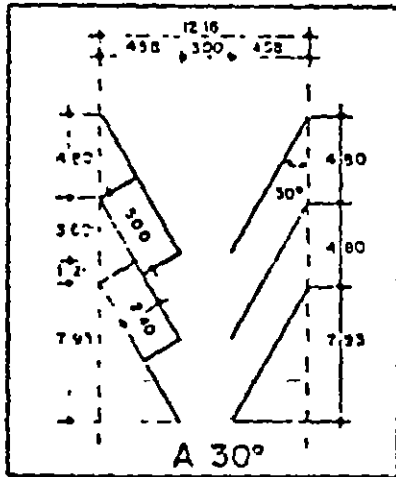
TABLA 8

DIMENSIONES MINIMAS PARA LOS PASILLOS

Angulo del cajón	Anchura del pasillo, en metros	
	Automóviles Grandes y medianos (1)	Chicos
30°	3.0	2.7
45°	3.3	3.0
60°	5.0	4.0
90°	6.0	5.0

De las tablas 7 y 8 se obtuvo la figura 1, en la que se ilustran las  
dimensiones mínimas de los pasillos y cajones, de acuerdo con el ángulo  
de estos últimos.

(1) An Introduction to Highway Transportation Engineering. Institute of  
Traffic Engineers. 1968. Pág. 91. Editorial I.T.E. E.U.A.



COTAS EN CENTIMETROS

### AUTOMOVILES GRANDES Y MEDIANOS

### AUTOMOVILES CHICOS

**NOTAS**

- 1- EN ESTACIONAMIENTOS ATENDIDOS POR CHOFERES ACOMODADORES, SE PODRAN REPLICAR LOS PASILLOS DE CALCULO DE 100 CM COMO MAXIMO PARA LA DISTRIBUCION DE CALLES EN ANGULO A 90°
- 2- LAS BARRAS EN EL PANELO DESTRAN SER DE COLOP BLANCO Y 10 CM DE ANCHURA
- 3- EN ESTACIONAMIENTOS CON FLETA DE AUTOMOVILES GRANDES, MEDIANOS Y CHICOS, SE DEBEN APLICAR LA DISTRIBUCION DE CALLES CORRESPONDIENTES A AUTOMOVILES GRANDES Y MEDIANOS

PROYECTO DE DIMENSIONES MINIMAS PARA CAJONES Y PASILLOS EN ESTACIONAMIENTOS

DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTES  
OFICINA DE PROYECTOS  
OFICINA DEL ESTADIO ATLETICO

FECHA  
18-2-1974  
Nº  
OP-413-1

FIG. 1

### 3. - Medios de circulación vertical.

#### a) Para los automóviles:

##### 1. - Tipos de rampas:

Rampas rectas (Fig. 2a).

Rampas rectas entre medias plantas a alturas alternas

Rampas helicoidales (Figs. 3a, 3b, 3c).

Estacionamiento en la propia rampa (Figs. 3d, 3e)

Por medios electromecánicos.

##### 2. - Pendiente máxima de las rampas: 15%

En rampas rectas con pendientes mayores del 12%, deberán construirse tramos de transición en la entrada y salida de acuerdo con lo especificado en la figura 4.

Estacionamiento en la propia rampa: 6% (1)

##### 3. - Las rampas con doble sentido de circulación deberán tener una faja separadora central.

##### 4. - Anchura mínima de las fajas separadoras centrales de las rampas:

Rampas rectas, 30 cm (2)

Rampas curvas, 45 cm (2)

##### 5. - La anchura mínima del arroyo de las rampas en recta será de 2.5 m por carril.

##### 6. - Los pasillos de circulación deberán tener un radio de giro mínimo de 7.50 m al eje.

##### 7. - Los pasillos de circulación proyectados con el radio de giro mínimo deberán tener una anchura mínima libre de 3.50 m. (3)

##### 8. - En rampas helicoidales:

Radio de giro mínimo al eje de la rampa (del carril interior) 7.50 m (3)

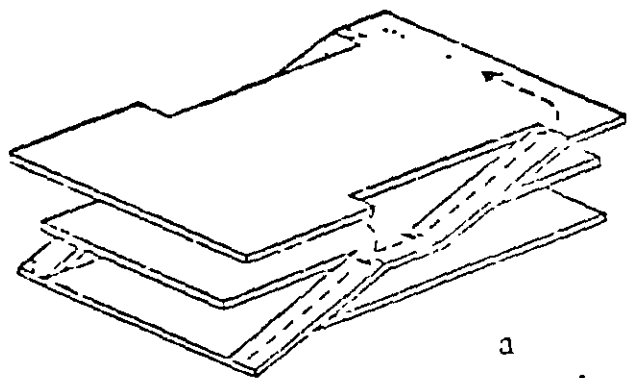
Anchura mínima del carril interior 3.50 m (3)

Anchura mínima del carril exterior 3.20 m (2)

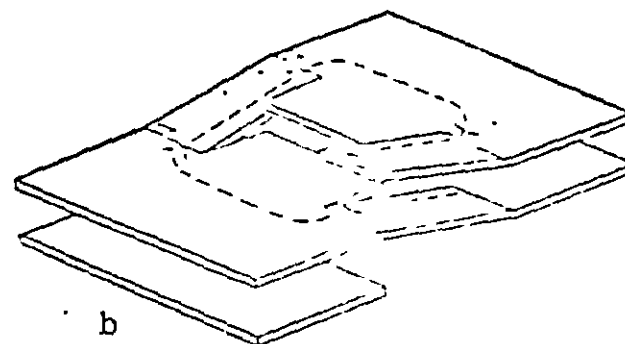
Sobreelevación máxima 0.10 m/m (2)

(1) Dietrich Klose, Edificios de Aparcamientos y Garajes Subterráneos. Pág. 34 y 36. - Editorial Gustavo Gili, S. A. - Barcelona, España. - 1965

(2) Ing. Guido Radelat Egues. - Manual de Ingeniería de Tránsito. Pág. 383. - Editorial Talleres Gráficos Municipal, S. R. L. - Buenos Aires, Argentina.



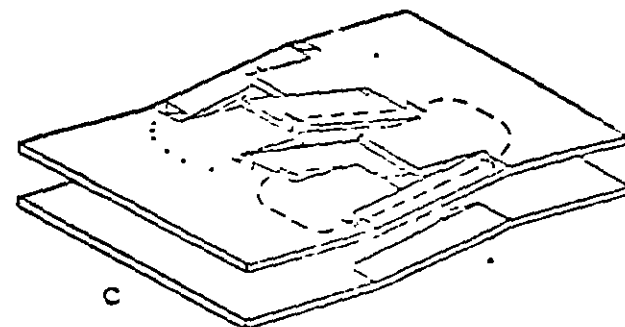
a



b

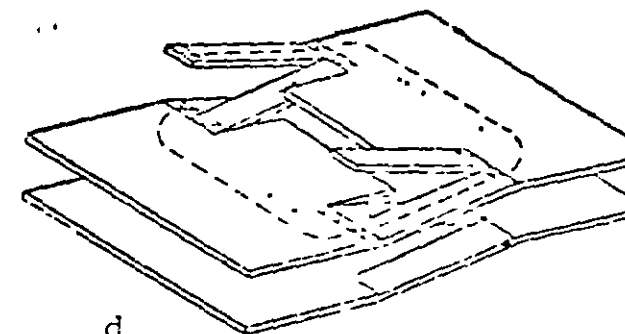
## RAMPAS DE ESTACIONAMIENTO

Rampas rectas entre plantas (fig a)



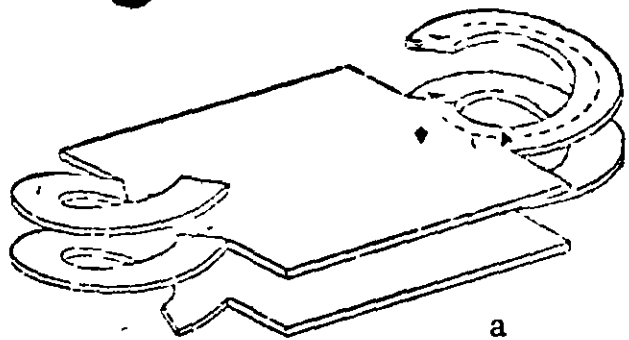
c

Rampas rectas entre medias plantas a alturas alternadas (figs b,c,d)

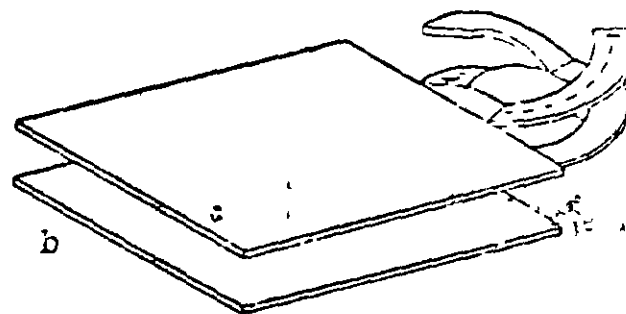


d

Figura 2



a



b

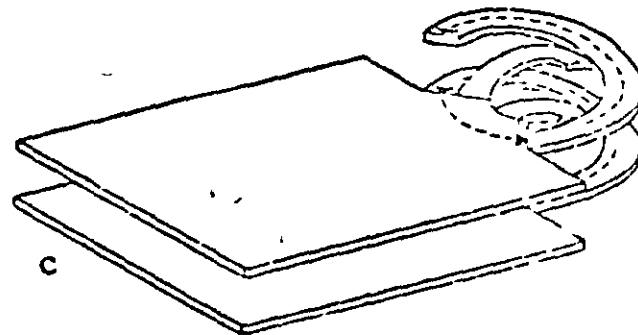
## RAMPAS DE ESTACIONAMIENTO

Rampas helicoidales entre plantas

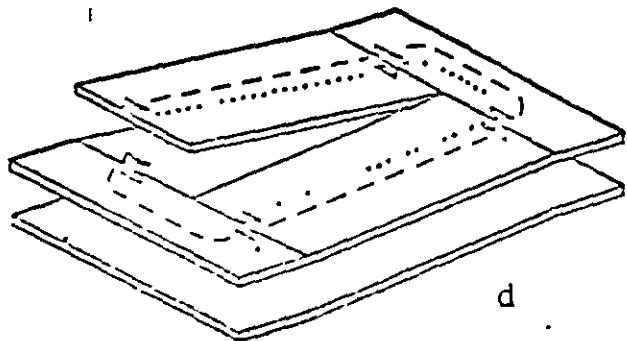
(figs a,b,c)

Estacionamiento en la propia rampa

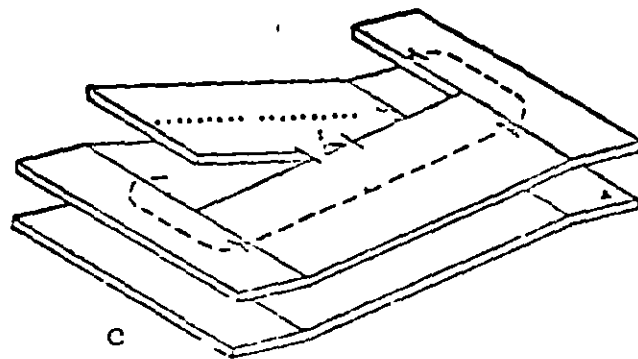
(figs. d y e)



c



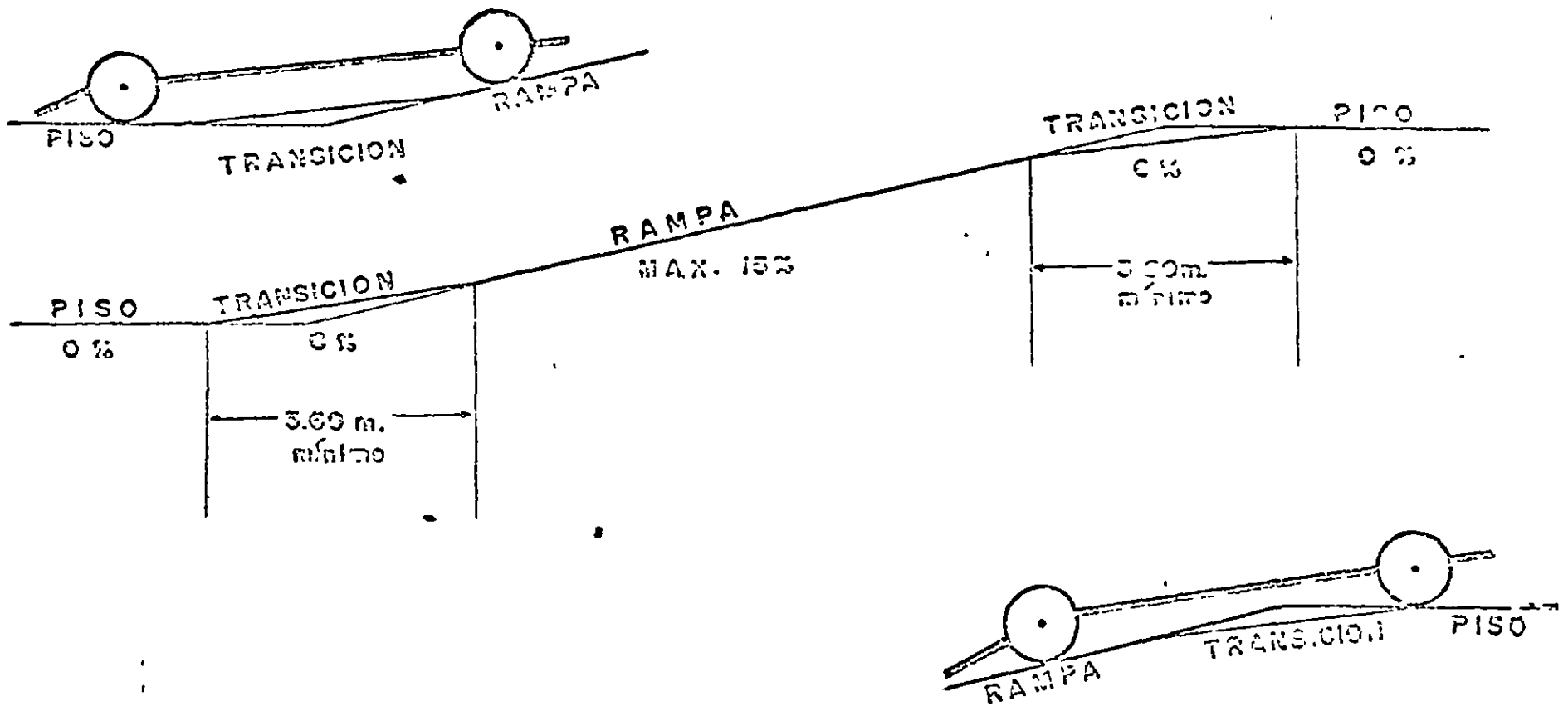
d



e

Figura 3

FIGURA 4



Transición recta mínima que se recomienda entre rampas y pisos cuando la pendiente está comprendida del 12% al 15%



9. - Altura mínima de las guarniciones centrales y laterales: 15 cm (1)
10. - Anchura mínima de las banquetas laterales: 30 cm (1), en recta y 50 cm en curvas. (2)
11. - En rampas helicoidales, una al lado de la otra, la rampa exterior se deberá destinar para subir y la rampa interior para bajar. La rotación de los automóviles es conveniente que se efectúe en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj.
12. - Altura mínima libre de los pisos: Primer piso 2.65 m y para los demás 2.1 m mínimo. (1)
13. - El número máximo recomendable de pisos con rampas es de 10. (3)
14. - En estacionamientos de autoservicio, toda rampa de salida deberá terminar a una distancia mínima de 5 m antes del alineamiento. (4)  
En esta distancia de 5 m se podrá permitir una pendiente máxima del 5% y pudiendo incluirse en la misma la transición.
15. - Las columnas y muros que limitan pasillos de circulación deberán tener una banqueta de 15 cm de altura y 30 cm de anchura, con los ángulos redondeados. (2)

b). - Para los peatones

En los edificios de estacionamiento los usuarios, una vez que abandonan los vehículos, se convierten en peatones y habrá que disponerse de escaleras y/o elevadores.

Para edificios hasta de tres plantas, a partir del nivel de calle, se puede prescindir de los elevadores y disponer la comunicación por medio de escaleras, que conviene estén señaladas claramente y tengan como mínimo 1.20 m de anchura. (5)

Cuando el edificio tiene más de tres plantas, incluyendo la planta-baja, se recomienda el uso de elevadores, siendo conveniente instalar como mínimo dos, de seis a ocho plazas cada uno. Como dato básico para determinar el número necesario de elevadores se admite que su capacidad total sea del orden de 3 a 5 personas por cada 100 cajones de estacionamiento situados fuera del nivel de calle.

En los estacionamientos de gran capacidad, con períodos de máxima afluencia de entrada o salida y donde haya que contar con un gran movimiento de peatones, se pueden prever escaleras mecánicas.

(1) Ing. Guido Radelat Agües, Manual de Ingeniería de Tránsito, Pág. 383  
Editorial Talleres Gráficos Mundial, S. R. L. Buenos Aires, Argentina, 1961

(2) Reglamento de Construcciones del Departamento del D. F.

(3) Dietrich Klose, Edificios de Aparcamiento y Cobertizos Subterráneos, Pág. 36  
Editorial Gustavo Gili, S. A. - Barcelona, España. - 1965

(4) Parking Standards Design Associates, A Parking Standards Report.  
Volumen I, Página 42. Los Angeles, California, U. S. A. 1971

(5) Código de Edificación, Pág. 807, Editorial Dossat, S. A.

#### 4. - Áreas de espera.

a) Para automóviles .

La función de las áreas de espera es la de absorber la acumulación de los vehículos que se produce cuando estos llegan con una frecuencia mayor que la de su acomodo y cuando quieren salir del estacionamiento más vehículos que los que pueden incorporarse en la corriente vehicular de la vía pública.

Es evidente que los estacionamientos atendidos por choferes acomodadores necesitan mayores áreas de espera, pues los conductores dejan sus vehículos en esos lugares hasta que los choferes puedan colocarlos. La falta de espacio de espera en un estacionamiento atendido por choferes acomodadores puede llegar a causar congestión en la vía pública y hacer que muchos conductores no se estacionen en el mismo, aunque tenga espacios vacíos disponibles.

Para determinar el tamaño que debe tener el área de espera de entrada en un estacionamiento, es preciso conocer o estimar la frecuencia de llegada de los vehículos durante la hora de máxima afluencia y la frecuencia de acomodo de éstos en el estacionamiento.

En estacionamientos atendidos por choferes acomodadores la frecuencia de colocación depende del número de ellos. El número de choferes acomodadores debe ser igual o mayor que "e" en la fórmula siguiente:

$$e \geq \frac{Q}{n}$$

Donde:

Q = Frecuencia de llegada durante la hora de mayor afluencia, en veh/h .

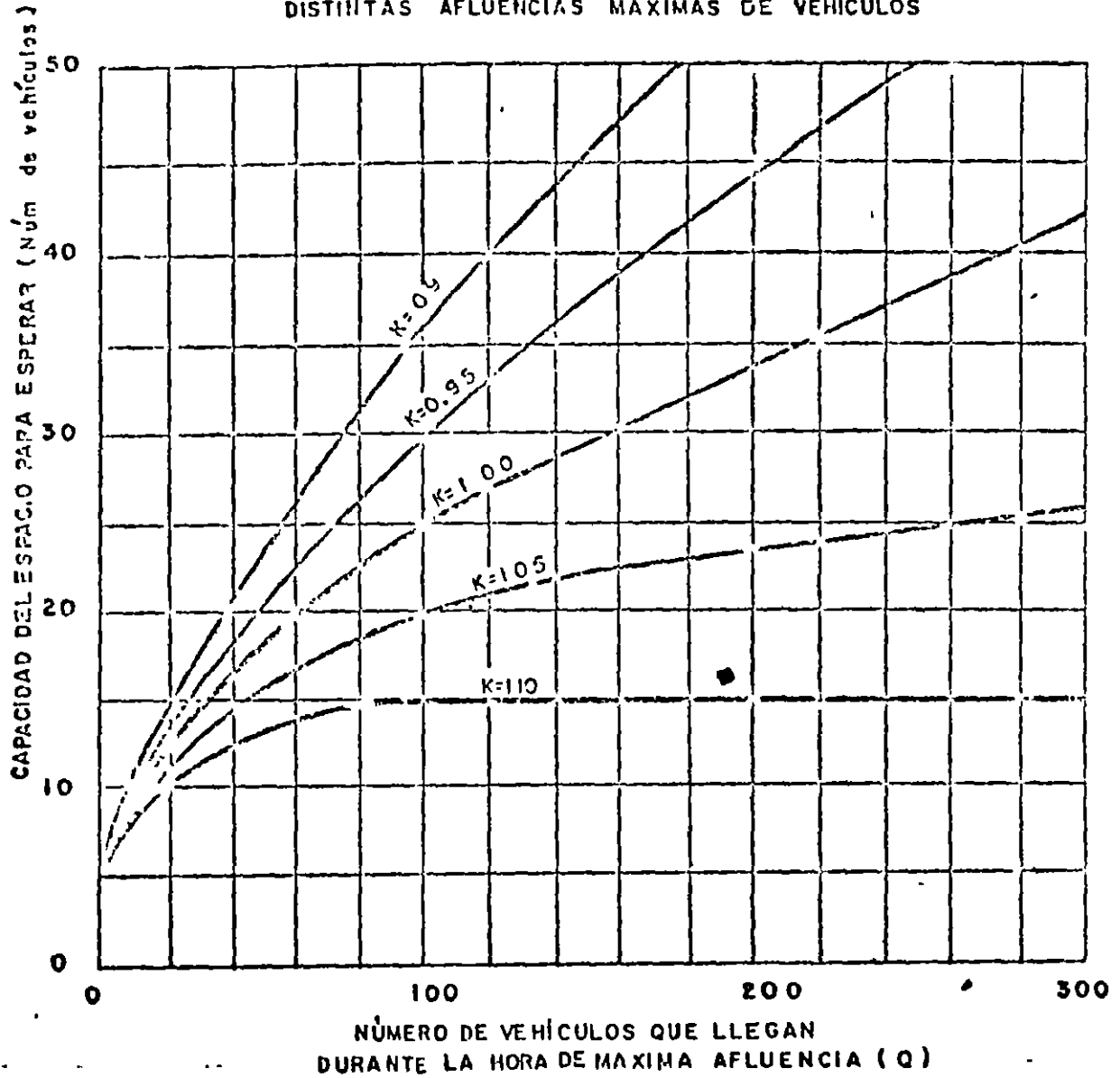
n = Número de vehículos que puede estacionar un chofer en una hora. (En la práctica este valor es de 20 veh/h aprox.)

El número de vehículos en el área de espera se obtiene de la gráfica 2, entrando en el eje de las abscisas con el número de vehículos que llega durante la hora de máxima afluencia y con el valor de K definido por la relación entre la frecuencia de colocación y la frecuencia de llegada. La frecuencia de colocación se obtiene multiplicando el número de choferes-acomodadores (e), por el número de vehículos que puede estacionar un chofer acomodador en una hora (n).

La frecuencia de llegada en un estacionamiento por construir se puede estimar estudiando otros estacionamientos similares existentes.

El área de espera de salida suele ser mucho menor que el de la entrada, pero conviene tener por lo menos dos carriles. En estacionamientos donde la entrada y salida quedan una al lado de la otra, las áreas de espera pueden disponerse con carriles reversibles, a fin de que se utilicen en ciertos momentos para los vehículos que llegan y en otros para los que salen, ya que los momentos de máxima afluencia rara vez coinciden con los de máxima salida.

AREA DE ESPERA DE ENTRADA REQUERIDA SEGUN  
DISTINTAS AFLUENCIAS MAXIMAS DE VEHICULOS



$$K = \frac{\text{Frecuencia de colocación}}{\text{Frecuencia de llegada}} = \frac{en}{Q}$$

En el estacionamiento de autoservicio, la relación de colocación es casi siempre superior a la relación de llegadas, aun en las horas de máxima afluencia.

En estacionamientos con sistema de elevadores y choferes acomodadores, cada elevador tiene una relación de colocación promedio de 50 autos/hora y el área de espera se calculará con la gráfica número 2 (1).

El número de choferes acomodadores deberá ser de 3 por cada elevador (1).

b) Para el público.

La anchura mínima de los pasillos de espera para el público en estacionamientos atendidos por empleados, deberá ser de 1.2 metros.

#### 5. - Entradas y salidas.

Como norma general los accesos de los estacionamientos deben estar ubicados sobre la calle secundaria y lo más lejos posible de las intersecciones, en donde no se causen conflictos. (2)

Los estacionamientos de servicio público deberán tener carriles de entrada y salida por separado, para que los vehículos en ningún caso utilicen un mismo carril y entren o salgan en reversa.

En estacionamientos de servicio particular se podrá admitir que cuenten con un solo carril de entrada y salida por cada planta que no exceda de 30 cajones de estacionamiento. El número máximo de plantas por predio para este requisito será de dos.

La anchura mínima de cada carril de circulación de las entradas y salidas será de 2.50 metros.

En la figura 5 se indican las normas para las rampas sobre las aceras.

#### 6. - Señalamiento.

Debe colocarse el señalamiento vertical y horizontal de acuerdo con lo especificado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras", editado por la Secretaría de Obras Públicas. Ver anexos 1, 2 y 3.

### C. - OTRAS NORMAS

1. - Las entradas y salidas de los estacionamientos deben permitir que todos los movimientos de los automóviles se desarrollen con fluidez, sin cruces ni entorpecimientos al tránsito en la vía pública.

2. - Toda maniobra para el estacionamiento de un automóvil deberá llevarse a cabo en el interior del predio, sin invadir la vía pública y en ningún caso

---

(1) Datos obtenidos de estacionamientos existentes en el D. F.

(2) Matson, Smith, Hurd, Traffic Engineering, Pág. 542, Editorial McGraw-Hill Book Company, INC. Nueva York, E.U.A. - 1955.

# S E Ñ A L E S V E R T I C A L E S (1)

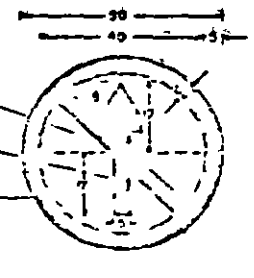
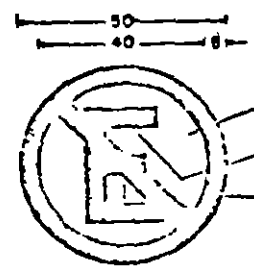
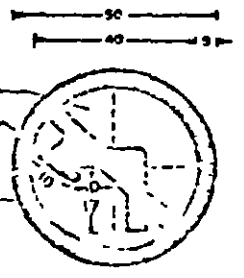
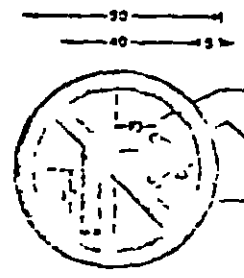
SR-26

SR-27

SR-25

SR-29

M-22



PROHIBIDA VUELTA A LA DERECHA

PROHIBIDA VUELTA A LA IZQUIERDA

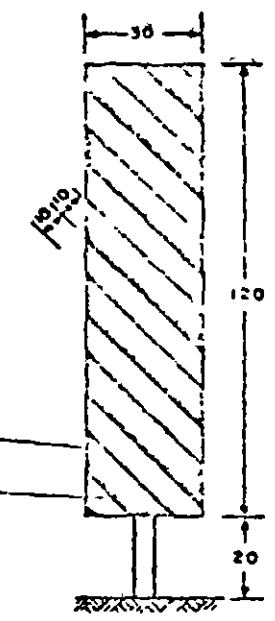
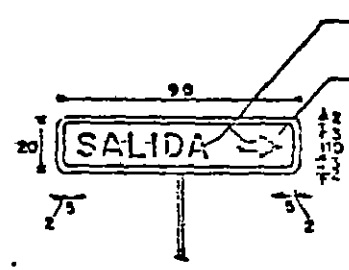
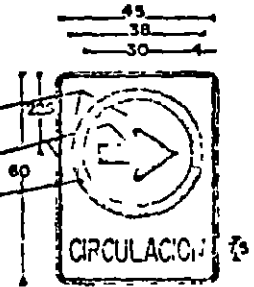
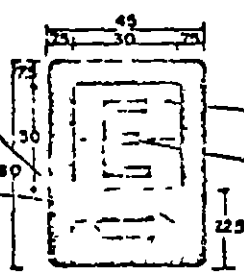
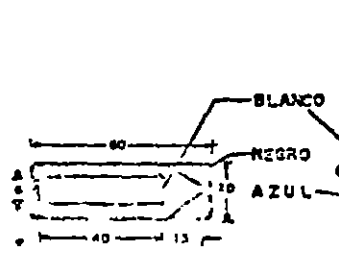
PROHIBIDO ESTACIONARSE

PROHIBIDO SEGUIR DE FRENTE

SI-23

SI-36

SR-11



SENTIDO DEL TRANSITO

ESTACIONAMIENTO PERMITIDO

CIRCULACION

INFORMATIVA

INDICADOR DE PELIGRO

# ESPECIFICACIONES PARA LA INSTALACION DE SEÑALES

LAMINA DE ACERO  
 O ALUMINIO  
 CUBIERTA AL  
 POSTERIOR LA PINTADA  
 COLOR ALUMINIO

PLACA SUJETA  
 AL POSTE CON  
 PERROS SOLDADOS  
 Y TORNILLOS  
 CADMINIZADOS

PARAMENTO  
 DE  
 CONSTRUCCION

TUBO DE FIERRO  
 GALVANIZADO DE  
 2" DE DIAMETRO.

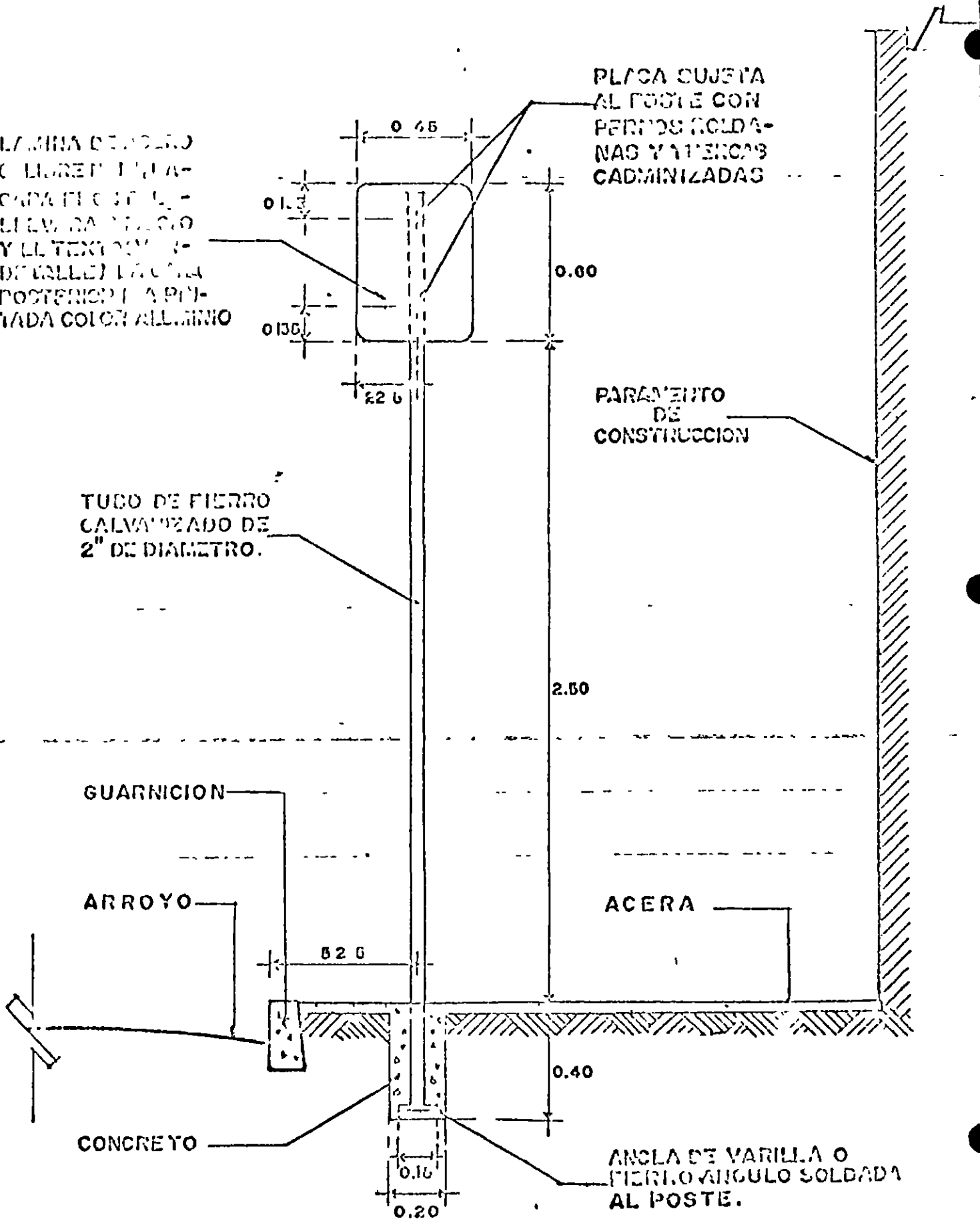
GUARNICION

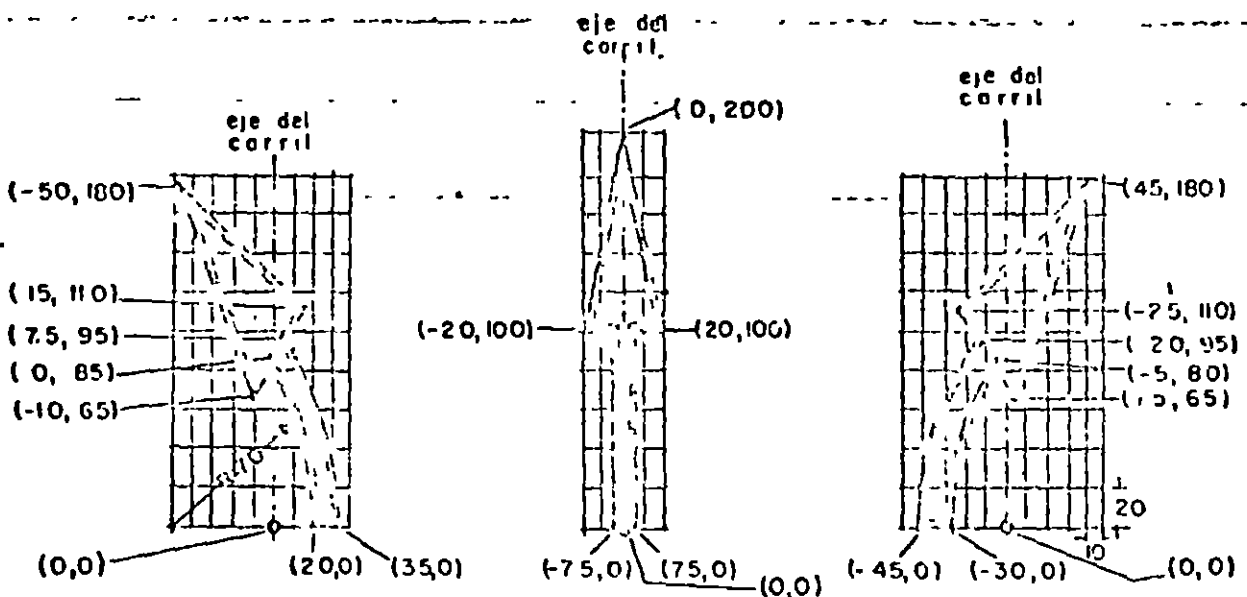
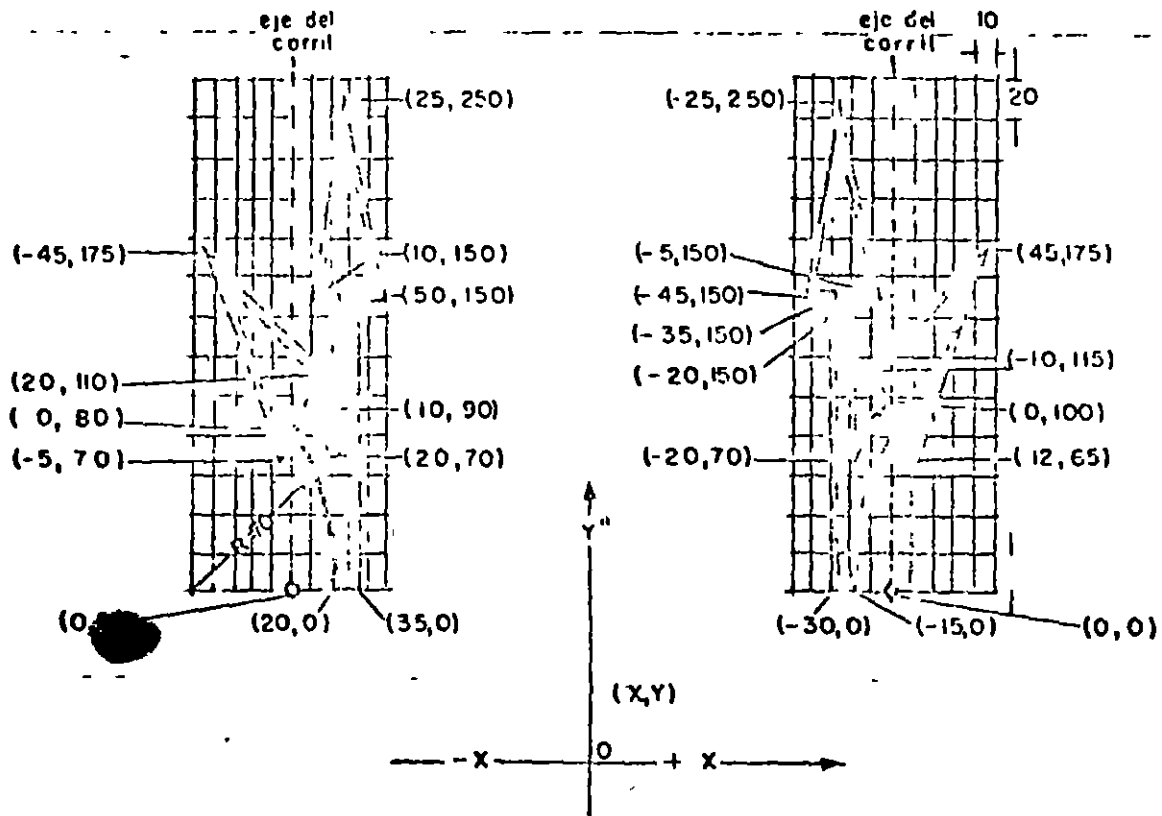
ARROYO

ACERA

CONCRETO

ANCLA DE VARILLA O  
 FIERRO ANGULO SOLDADA  
 AL POSTE.



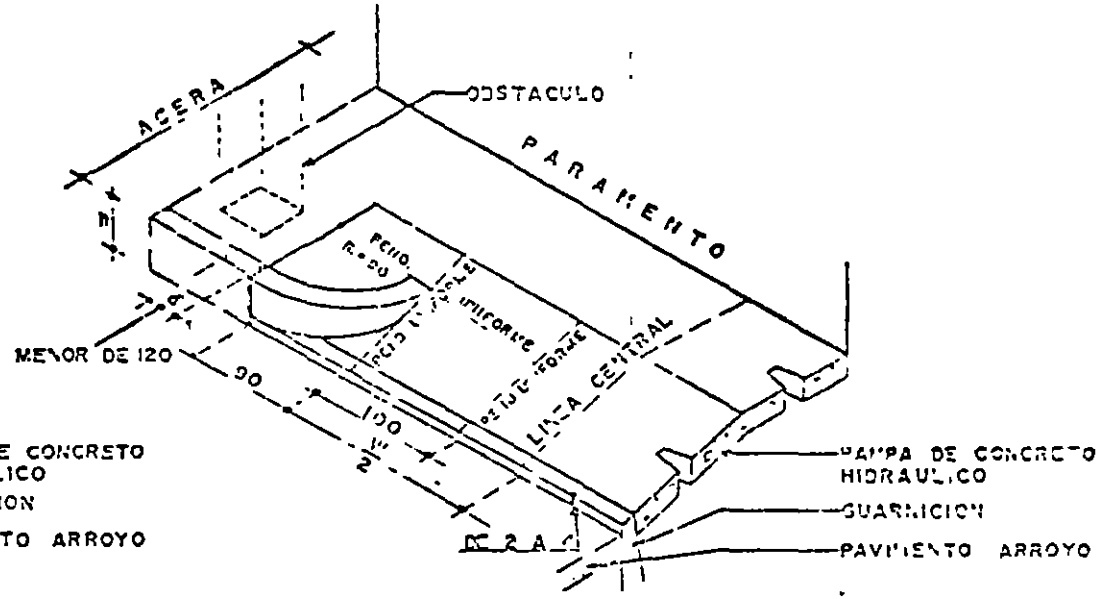
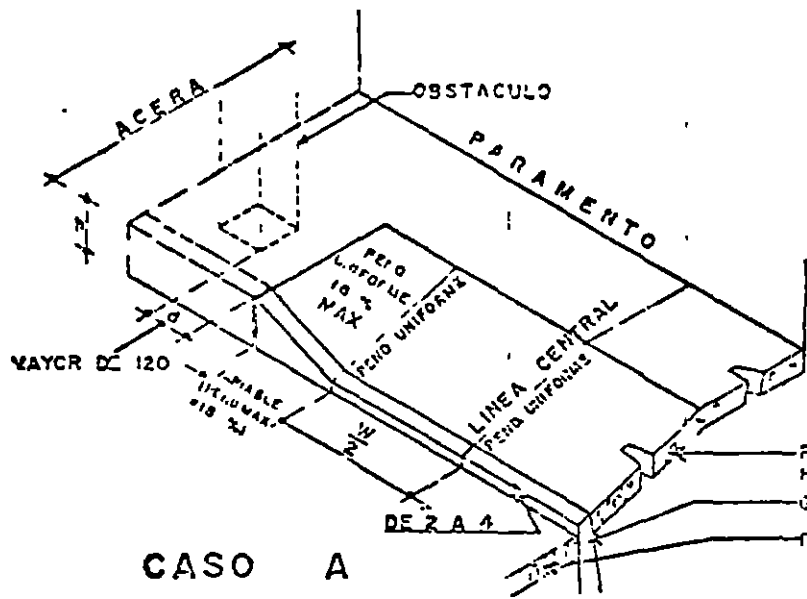


ANEXO 3

febrero 4 1972

esc. 1: 40

DIAGRAMA PARA TRAZO DE FLECHAS EN EL PAVIMENTO MEDIANTE COORDENADAS



COTAS EN CENTIMETROS

### SIMBOLOGIA Y NOTAS

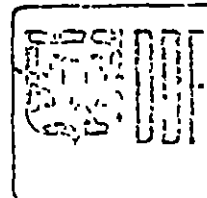
--- CONSTRUCCION EXISTENTE  
 ——— CONSTRUCCION PROYECTO

- 1- LA DISTANCIA "W" NO SERA MENOR DE 270 NI MAYOR DE 900
- 2- EN CUALQUIER CASO LA RAMPA DEBERA OCUPAR MAS DE 2/3 DE LA ANCHURA DE LA ACERA
- 3- LA PENDIENTE RECOMENDABLE EN LA RAMPA ES 13%
- 4- EL ACABADO DE LA RAMPA SERA ANTIDERRAPANTE

FIGURA 5

CASO B

ESTE PROYECTO ANULA EL PROYECTO DP-9-4



DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
 OFICINA GENERAL DE ESTUDIOS DE TRAYECTORIAS Y MANEJO DE  
 OFICINA DE PROYECTOS  
 PROYECTO TIPO DE PAMPAS PARA VEHICULOS  
 SOBRE LA ACERA

FECHA: 1970  
 NUM: CP-425-N

PROYECTO INS. ENVIADO A LA COM. W. REVILLO EL 10/10/70  
 DISEÑADO POR: V. S. A. APROBADO EL 10/10/70  
 REVISADO POR: ENRIQUE FLORES V. M. RUIZ



deberán salir vehículos en reversa a la calle.

3. - La caseta para control de los estacionamientos deberá estar situada dentro del predio, como mínimo a 4.50 m del alineamiento de la entrada. Su área deberá tener un mínimo de 2.00 m<sup>2</sup>.

4. - Todos los estacionamientos que utilicen acomodadores, deberán contar con sanitario y almacén para equipo de asco y guardaropa para los empleados.

5. - Cada lugar para el estacionamiento de un automóvil dentro de un estacionamiento de autoservicio, tendrá que ser accesible individualmente, sin tener que pasar por otro lugar de estacionamiento, excepto en el caso de que haya un espacio para dos automóviles en batería y que correspondan ambos a una misma persona.

6. - No deberá permitirse que las circulaciones, rampas o espacios para maniobras sean incluidas como áreas para el estacionamiento de automóviles.

7. - En los lotes se deberá contar con un área de espera techada para el público.

8. - Toda área al descubierto para estacionamiento de automóviles deberá estar pavimentada.

9. - Los estacionamientos deberán iluminarse en forma adecuada en toda su superficie.

10. - Los estacionamientos cubiertos deberán contar con ventilación adecuada, ya sea natural o artificial.

11. - Todos los estacionamientos deberán tener las superficies de piso debidamente drenadas.

12. - Los estacionamientos deberán contar con equipo contra incendio, conforme a las disposiciones reglamentarias al respecto.

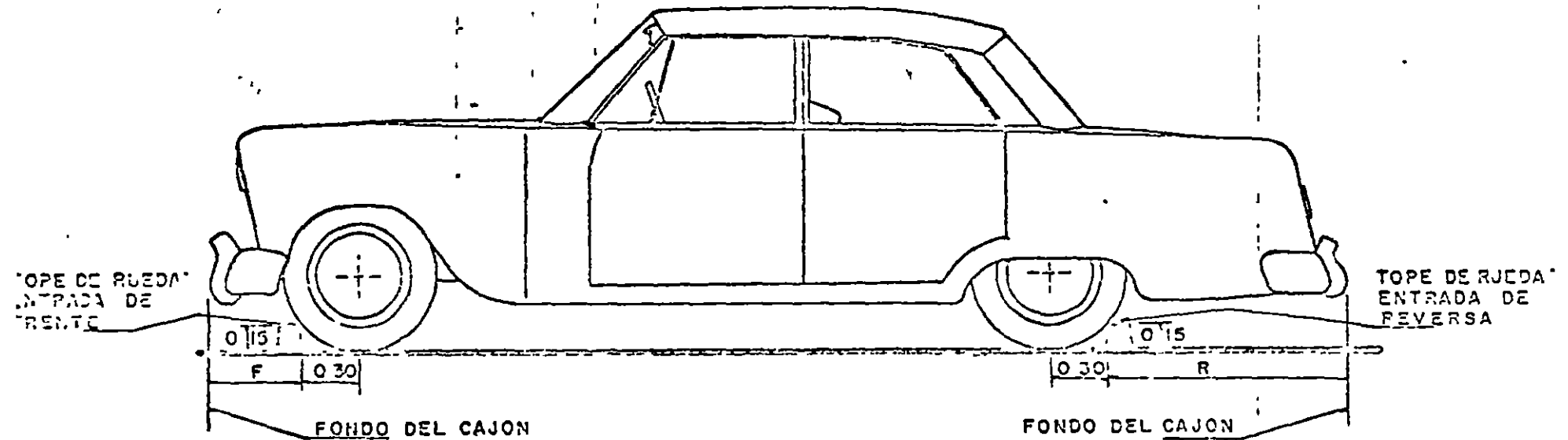
13. - Los estacionamientos deberán contar con topes de rueda de 0.15 m de pealte en todos los cajones colindantes a los muros; la distancia de colocación deberá ser de acuerdo con la figura Núm. 6.

14. - Los estacionamientos en edificios deberán tener protecciones adecuadas en rampas, cubos, colindancias y fachadas con elementos estructurales capaces de resistir los posibles impactos de los automóviles, además del tope ya mencionado.

15. - Los estacionamientos atendidos por choferes acomodadores, con más de un nivel, deben estar provistos de bandas para el ascenso vertical de los operadores y de tubos para su descenso.

# COLOCACION DE LOS TOPE DE RUEDA EN LOS CAJONES DE ESTACIONAMIENTO

FIGURA 6



TIPO DE AUTOMOVIL	DISTANCIA "F" ENTRADA DE FRENTE	DISTANCIA "R" ENTRADA DE REVERSA
GRANDES Y MEDIANOS	0.80 (1)	1.20 (1)
CHICO	0.60	0.80

NOTAS: ACOTACIONES EN METROS

(1) PARKING PROGRESS COLETIN No 145, VOLUMEN 13, 1972, PAGINA 1021

16.- Los estacionamientos con sistemas mecánicos para el transporte vertical de los automóviles, deberán contar con planta propia para el suministro de energía o dispositivos manuales para casos de emergencia.

17.- Para determinar la demanda de cajones de estacionamiento requerida por el uso del predio, se agrega la tabla de Espacios para Estacionamiento de Vehículos que Genera el Uso del Predio Correspondiente y que deberá servir de base para el proyecto de estacionamientos.

#### D. - RECOMENDACIONES GENERALES

No existen ningunas normas ni fórmulas que den siempre un diseño de capacidad máxima para un estacionamiento. No obstante, la experiencia ha demostrado que existen ciertas reglas básicas que dan resultados óptimos de capacidad y que a continuación se exponen.

1.- El proyectista deberá determinar la localización de las entradas y salidas del estacionamiento, de acuerdo con las normas en vigor, antes de empezar el anteproyecto.

2.- Las áreas de estacionamiento más eficientes son las de forma rectangular.

3.- No conviene utilizar terrenos con formas irregulares tales como: triangular, en curva, etc.

4.- Los pasillos de circulación deberán estar alineados paralelamente a los lados mayores del área de estacionamiento, donde sea posible.

5.- Los pasillos de circulación, en las áreas en forma irregular, deberán proyectarse paralelos a los lados mayores.

6.- Los pasillos de circulación deberán ser útiles para dos baterías de cajones de estacionamiento.

7.- En el perímetro del área del estacionamiento deberán proyectarse cajones en batería.

8.- El movimiento y control vehicular interior deberá ser analizado cuidadosamente para lograr el mayor grado de seguridad y eficiencia.

9.- El alumbrado deberá proyectarse después de haber obtenido el diseño óptimo de capacidad.

10.- Se aconseja considerar diversas alternativas de anteproyecto del estacionamiento y escoger entre éstas la que proporcione las mayores ventajas.

BASES QUE DETERMINAN LA DEMANDA DE ESPACIO PARA ESTACIONAMIENTO DE VEHICULOS QUE GENERA EL USO DEL PREDIO O CONSTRUCCION DE ACUERDO CON EL -- ARTICULO 31 DE LA LEY SOBRE ESTACIONAMIENTOS DE VEHICULOS EN EL DISTRITO FEDERAL.

Uso del predio	Area construída. Núm. de cuartos, aulas, personas, etc.	Núm. mínimo de espacios para estacionamiento
Casa-Habitación unifamiliar	Menor de 200 M2 de 200 a 300 M2 301 en adelante	1 por cada una 2 por cada una 3 por cada una
Habitación multifamiliar (edificios de departamentos, condominios, etc.)	Menor de 60 M2 de 60 a 80 M2 de 81 a 120 M2 de 121 a 150 M2 de 151 M2 en adelante	1 por cada 3 deptos. 1 por cada 2 deptos. 1 por cada depto. 1.5 por cada depto. 2 por cada depto.
Oficinas particulares y gubernamentales	Area total rentable	1 por cada 50 M2
Comercio	Area total de ventas De 100 M2 a 500 M2 Menor de 1000 M2 Mayor de 1000 M2	1 por cada 50 M2 1 por cada 40 M2 1 por cada 30 M2
Venta materiales de construcción		1 por cada 200 M2
Industrias y Bodegas	Area industrial	1 por cada 250 M2
Hoteles y posadas	Para los primeros 20 cuartos Cuartos excedentes	1 por cada 4 cuartos 1 por cada 8 cuartos
Moteles		1 por cada cuarto
Amueblados con servicio de hotel (Suites)		1 por cada 2 amueblados
Hospitales y clínicas	1a. categoría:cuartos privados 2a. categoría:cuartos múltiples	1 por cada cuarto 1 por cada cuatro camas

Uso del predio	Área construida, Núm. de cuartos, aulas, personas etc.	Núm. mínimo de espacios para estacionamiento.
	2a. categoría: cuartos privados	1 por cada 5 cuartos
	2a. categoría: cuartos múltiples	1 por cada 10 camas
	Consultorios, laboratorios, quirófanos y salas de expulsión, incluyendo sus circulaciones y servicios	1 por cada 15 m <sup>2</sup>
	Internados para tratamientos médicos	1 por cada 100 m <sup>2</sup>
Bancos	Área total	1 por cada 20 m <sup>2</sup>
Escuelas: Jardines de niños, primarias y secundarias, oficiales y particulares Preparatorias, academias, escuelas de artes y oficios similares, oficiales y particulares Profesionales, oficiales y particulares Internados, seminarios, orfanatorios, etc.	Aulas	1 por cada aula
	Área aulas	1 por cada 8 m <sup>2</sup>
	Área aulas	1 por cada 6 m <sup>2</sup>
	Aulas	1.5 por cada aula
Centros de reunión: Cabarets, cantinas y restaurantes con venta de bebidas alcohólicas	cupos	1 por cada 4 personas
Restaurantes sin venta de bebidas alcohólicas, cafeterías, salones de fiesta, etc.	Con cupo superior a 25 personas	1 por cada 7 personas
Cines, teatros y auditorios	Cupo	1 por cada 8 personas
Carpas instaladas por más de 30 días para espectáculos de circo, teatro o similares	Cupo	1 por cada 16 personas

Uso del predio	Área construida, Núm. de crantos, aulas, personas- etc.	Núm. máximo de esp. para estacionamiento
Edificios destinados a:		
Templos	Cupo	1 por cada 50 personas
Espectáculos deportivos, establos, plazas de toros, etc.	Cupo	1 por cada 20 personas
Fiestones de espectáculos	Cupo	1 por cada 10 personas
Locales para la enseñanza y práctica de gimnasia, -- danza, baile, judo, karate, natación o similares	Área total de prácticas	1 por cada 50 m <sup>2</sup>
Squashes o frontones		2 por cada cancha
Canchas deportivas	Área de canchas	1.5 por cada 150 m <sup>2</sup>
Pólichs	Mesas de juego	1.5 por cada mesa
Salones de fiestas infanti- les	Área para fiestas	1 por cada 50 m <sup>2</sup>
Baños públicos	Área construida	1 por cada 75 m <sup>2</sup>
Talleres mecánicos y estaciones de servicio de lubricación	Área de taller	1 por cada 50 m <sup>2</sup>
Estación de lavado de vehículos		5 por cada equipo de lavado
Campos para casas rodantes		85 m <sup>2</sup> por cada unidad, con- diéndose aceptar el 25% de espacios menores. La su- perficie no incluye condi- ciones y servicios generales
Velatorios y Agencias de inhumaciones	Capillas	15 por cada una
Panteones	Fosas, criptas úsarlos y columbarios	1 por cada 200

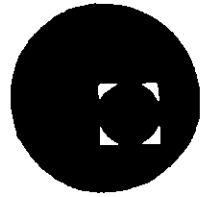
**"NOTA"**

Cualquiera otras edificaciones no comprendidas en esta relación, se sujetarán a estudio y resolución por las Autoridades del Departamento del Distrito Federal.

La demanda total para los casos en que en un mismo predio se encuentren establecidos los usos señalados será la suma de las demandas señaladas para cada uno de ellos.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



**PLANIFICACION VIAL URBANA.**

**"INTRODUCCION".**

**ARQ. JOAQUIN ALVAREZ ORDONEZ**

**PALACIO DE MINERIA  
Tacuba 5, primer piso México 1, D F  
TELEFONOS 513-27-95  
512-31-23 521 73 35**

1953





# Curso de Planificación Vial Urbana

## Plática Introductoria

19-de-enero de 1976

Arq. Joaquín Alvarez Ordóñez

1. Objetivo de la plática:
- a) Motivar a los participantes.
  - b) Experiencia concreta:  
Realización del Circuito Interior y las Vías Radiales en el Distrito Federal.
  - c) Primera parte de la plática:  
Consideraciones generales sobre el papel de la vialidad en la vida urbana y sobre las modalidades de su planificación.
  - d) Segunda parte de la plática:  
Las realizaciones en el Distrito Federal.

./.

2.

## 2. Esquema del funcionamiento de la ciudad.

a) Concepto general de ciudad Creación humana capaz de proporcionar el más alto nivel de bienestar a grandes grupos de población, a través de la vida en común, el intercambio significativo y la especialización de las actividades de sus habitantes.

b) Funciones de la ciudad: El conjunto de actividades que se desarrollan en la ciudad pueden esquematizarse en cuatro funciones muy amplias:

- habitación
- trabajo
- recreación y cultura
- circulación

c) Instalaciones y obras materiales: Independientemente de las formas de organización social y de los patrones que sigue el esfuerzo humano, que se relacionan con estas funciones generales, cada una puede identificarse con instalaciones fijas y obras materiales que constituyen la estructura visible y tangible de la ciudad:

- la habitación, con la casa y el barrio
- el trabajo, con la fábrica, el comercio y la oficina.
- la recreación y la cultura, con la escuela, el parque, el cine, el museo, el hospital y la iglesia.
- la circulación con las calles, vías rápidas, vías del metro, estacionamiento y terminales.

### 3.

#### 3. La función urbana de circulación.

- a) La ciudad reúne en un área relativamente reducida a grandes masas de población. En relativa proximidad, llevan a cabo variadas actividades. Todo ello acentúa las necesidades de circulación en el interior de la ciudad.
- b) El crecimiento de las ciudades y la consiguiente especialización de actividades, cada vez en escalas más amplias, multiplica las necesidades de circulación, que se derivan de la influencia mutua de las funciones de habitación, trabajo y recreación.
- c) A la vez, el crecimiento impone obstáculos a la circulación que se derivan de la propia aglomeración.

4. Circulación y sistemas de movimiento urbano.

- a) La función de circulación en la ciudad puede visualizarse como forma por múltiples sistemas de movimiento.
- b) Estos sistemas de movimiento permiten satisfacer las necesidades de intercomunicación y transporte de bienes y personas.
- c) Cada uno de los sistemas de movimiento corresponde con condiciones precisas:
  - distancia por recorrer
  - peso y volumen de los objetos ó número de personas por transportar
  - características técnicas del modo de transporte, que incluye:
    - vía ó infraestructura
    - vehículos que circulan sobre ellas

./.

4.1

d) Los sistemas de movimiento urbano pueden clasificarse en:

- movimiento de peatones y de ciclistas, restringido a distancias relativamente cortas.
- automóviles particulares y camiones de carga que hacen uso de la vialidad urbana.
- transportes públicos de pasajeros - autobuses, trolebuses, taxis que hacen uso de esa misma vialidad general.
- transportes colectivos de pasajeros, como el metro, que cuenta con vía propia.

e) Los sistemas de movimiento incluyen, además, las instalaciones necesarias para efectuar la intercomunicación ó intercambio entre los diversos modos de transporte:

- paradas y estaciones para los pasajeros.
- garages y estacionamientos de automóviles.
- instalaciones terminales de sistemas de movimiento de alcance regional ó nacional: aeropuertos, estaciones de ferrocarril, instalaciones portuarias.

## 5. La vialidad urbana y su relación con otros elementos de la ciudad.

a) Como se ha expuesto, los elementos de la vialidad urbana, incluyen a los siguientes:

- calles y avenidas
- vías rápidas y pasos a desnivel
- calles para peatones y ciclistas
- estacionamientos para automóviles
- instalaciones terminales y de transbordo
- elementos auxiliares: señales y semáforos.

b) La vialidad urbana se relaciona estrechamente con la localización - en el área de la ciudad de las actividades que realizan sus habitantes.

La demanda fundamental de desplazamientos se compone de los viajes de la casa al lugar de trabajo, y en menor proporción, los recorridos a la escuela, a las tiendas y mercados, y a los sitios de recreación y esparcimiento.

./.

### 5.1

De allí que las distancias recorridas, el tiempo requerido y en -- cierta medida, el ó los modos de transporte empleado, dependan -- de la estructura que presentan los variados usos del suelo urbano. Por este mismo motivo, las disposiciones adoptadas en materia de planificación urbana influyen decisivamente en las necesidades de -- transporte e, inversamente, la estructura vial de la que dispone la ciudad, orienta las decisiones de localización de numerosas actividades y del destino que se da al suelo urbano.

6. Trascendencia de una adecuada planificación vial para el desarrollo --  
urbano.

a) Los grandes objetivos de la planificación del desarrollo urbano determinan los lineamientos principales de la planificación vial:

- crecimiento demográfico
- distribución territorial de la población
- número y distribución de los empleos y actividades productivas.
- extensión urbana y transformación de las zonas ya construídas.
- función de la ciudad en la región.

Afortunadamente, el Plan Director del Desarrollo Urbano del Distrito Federal abarca todos estos aspectos y señala objetivos precisos en materia de transporte y en particular de vialidad.

b) La planificación vial debe considerar el impacto de la estructura vial sobre la mejor distribución en los usos del suelo y de las actividades urbanas; debe ser congruente con los objetivos fijados a la evolución y crecimiento futuros de la ciudad y que éstos se realicen sin tropiezos y en el sentido deseado.

./.

7. La planificación vial urbana y el sector de los transportes.

Dentro del sector más restringido de los transportes, la planificación vial urbana debe contribuir a:

- a) Asegurar la distribución óptima de la demanda entre los diversos ~~modos de transporte~~ de manera que los costos totales a la colectividad sean mínimos. De aquí se derivan, por ejemplo, las medidas para equilibrar el uso del automóvil particular frente al transporte público y dentro de éste, la preferencia por el transporte colectivo en vía propia, como es el Metro.
- b) Asegurar al mismo tiempo, el mayor grado de bienestar a la población, compatible con el menor costo a la colectividad, ahorro de tiempo y esfuerzo; supresión del congestionamiento, reducción de niveles de accidentes, contaminación atmosférica y ruidos, mejorar la comodidad del viajero, así como el aspecto de las vías y del paisaje urbano en general. Todos estos factores inciden en la calidad de la vida que se ofrece al habitante de la ciudad.

## 8. Relaciones entre la planificación vial urbana y otras disciplinas.

- a) Además de las estrechas relaciones con la planificación del desarrollo urbano y con la planificación y la economía de los transportes, como ya se ha descrito, resulta de interés destacar los nexos de la planificación vial urbana con otras disciplinas.
- b) Con las técnicas de programación y evaluación de proyectos: Estos contribuyen a transformar los planes generales en programas específicos y en proyectos concretos.

Estas disciplinas permiten conocer la rentabilidad de las inversiones planteadas en términos del interés de la colectividad.

- Se examinan ordenadamente los costos y los beneficios asociados a cada programa, lo que permite plantear la imputación de los cargos entre los diversos grupos de beneficiarios.
- Se examinan en forma homogénea las diferentes alternativas de solución a un problema determinado.

./.

8.1

## c) Con la ingeniería de tránsito:

- proporciona los datos empíricos de base: volúmenes de tránsito y de pasajeros; origen y destino, variación horaria, estadística de accidentes y características de la circulación (velocidad, con gestionamiento).
- dispone de las técnicas de análisis y proyección de la información básica, cuyos resultados son básicos para la preparación de planes y programas.
- la operación y uso de la estructura vial se apoyan igualmente en la ingeniería de tránsito: control de la circulación; señales, semáforos, prohibición de estacionamiento, etc.

## d) Con el diseño geométrico de las obras viales.

- contribuye a fijar las normas de trazo y diseño que condicionan las características de la circulación.
- estas normas contribuyen a expresar en diseños concretos los objetivos de los planes de vialidad, el nivel de servicio (velocidad, seguridad y comodidad) para la capacidad requerida.

## e) Con la ingeniería civil:

- ~~proyecto, diseño estructural, mecánica de suelos y procedimientos de construcción.~~
- planteamiento de soluciones realizables.
- previsión de efectos durante el período de construcción; libramiento de obstáculos, desviaciones; calendario de las obras; demanda de recursos materiales, técnicos y humanos.

## f) Con el diseño urbano y la arquitectura de paisaje.

## 9. Aspectos prácticos de la planificación vial urbana en el Distrito Federal, durante la Administración del Presidente Luis Echeverría.

## a) La planificación vial urbana debe apoyarse en:

- los antecedentes históricos
- la vieja traza de la ciudad y su evolución
- el establecimiento de un plano regulador
- construcción del viaducto Miguel Alemán y del Anillo Periférico
- el aprovechamiento de las experiencias adquiridas.
- necesidad de una concepción global de las obras viales urbanas

## b) Estudios de ingeniería de tránsito para fundamentar y racionalizar la ejecución de obras viales:

- volúmenes de tránsito, orígenes y destinos, líneas de deseo, intersecciones conflictivas y pronósticos y proyecciones del tránsito.
- número de vehículos registrados en el Distrito Federal y su incremento.

- incidencia de vehículos procedentes de las áreas conurbadas del Estado de México.
- c) La estructura vial en 1970: Congestionamiento extremo en el área central y saturación de vías rápidas y avenidas.
- planteamiento de la estructura vial básica y su incorporación al Plan Director.
  - proposiciones preliminares: 2o. piso al periférico poniente; vía alterna del mismo al poniente del Distrito Federal; continuación del periférico en sus tramos oriente y sur.
  - acciones emprendidas: El Circuito Interior y Vías Radiales como elemento regulador y coordinador del sistema de movimiento urbano.
  - acciones paralelas: Ampliación de la capacidad del Metro y reestructuración del sistema de transportes públicos de superficie.
- d) Características del Circuito Interior y Vías Radiales:
- Capacidad del Circuito Interior: 14,000 vehículos por hora

./.

- longitud del Circuito Interior: 40 kilómetros
  - estructuras del Circuito Interior: 40 pasos a desnivel, viaducto elevado. Radiales: 9 pasos a desnivel.
  - inversiones: 2,205 millones
  - carácter y diseño
- e) Interdependencia del Circuito Interior son:
- el Metro
  - transporte público de superficie
  - estacionamientos
  - movimiento y espacios peatonales
  - sistema general de calles y avenidas
- f) Efectos y relación del Circuito Interior con la política de desconcentración administrativa.
- intercomunica a 10 de las 16 Delegaciones
  - apoya el establecimiento de centros urbanos caracterizados en las Delegaciones.

./.



- alivia la presión sobre el área central y protege el centro tradicional de la ciudad de México.
- g) Coordinación con el Estado de México y con la Secretaría de Obras Públicas.
- h) Elaboración de proyectos y participación interdisciplinaria en los trabajos.
  - proyecto geométrico, arquitectónico, urbanístico y de ingeniería.
- i) Programación y evaluación de inversiones.
- j) Coordinación entre dependencias para la realización del Programa Especial de Obras Viales.
  - dependencias del D. D. F. : (todas) \*\*\*
  - dependencias externas: (todas) \*\*\*
  - obras previas y colaterales
  - mejoras y actualización de la red de servicios.

./.

- k) Etapa 1972 - 1976. Obras Programadas:
  - vías radiales de San Joaquín y Parque Vía
  - Circuito Interior desde la Raza hasta Insurgentes Sur y Río Mixcoac.
  - tramo sur del Circuito, desde Centenario hasta Avenida 5.
  - solución a nivel en Patriotismo y Revolución
  - 43.8 kilómetros adicionales de vías rápidas para la ciudad : 78 % de todas las construidas desde 1948 hasta 1970.
  - calzadas Zaragoza, Las Torres y
  - el paso a desnivel Tlalpan-Taxqueña y los beneficios de solución a un cruce conflictivo.
- l) El Circuito Interior como condicionante de nuevos patrones de circulación.
  - incorpora y permite la utilización efectiva de más de 40 avenidas radiales existentes.
  - sienta las bases para el establecimiento de un sistema totalizador y racional de movimiento para la ciudad.

- prevé la incorporación de obras viales como el periférico y la -  
transmetropolitana.
- la disponibilidad de proyectos y la ejecución de afectaciones aseguru la continuidad del Programa Especial de Obras Viales. Se trata de una obra de ciudad, ejemplo: del Drenaje Profundo.

**PLANIFICACION VIAL URBANA**

**LOCALIZACION Y DENSIDAD FUTURA DE LA POBLACION**

**ING. JORGE SUAREZ RUELAS**

**ENERO DE 1976.**

## LOCALIZACION Y DENSIDAD FUTURA DE LA POBLACION.

Esta determinación presenta un problema con respuestas alternos de -  
igual validéz relativa, dependiendo del supuesto de los pasos intermedios.

Los pasos involucrados son:

- 1.- Población proyecto total al año de estudio o nivel de población futu  
ra.
- 2.- Localizar la población proyectada en los lugares con mayor proba-  
bilidad de residencia, dentro del área en estudio, considerando:
  - a. Tendencias pasadas del uso de la tierra.
  - b. Interrelaciones actuales del uso de la tierra.
  - c. El pasado y presente económico del área.
  - d. Tendencias sociológicas recientes.
  - e. Sistema de transportación pasado y actual.
  - f. Tendencias pasadas comerciales e industriales.
  - g. Desarrollo actual y pasado.
  - h. Otros factores en particular importantes para el área en estudio
- 3.- Considerar de nuevo todos los incisos de paso 2, más los facto-  
res locales especiales, determinando la probable localización -  
en el futuro de las áreas comerciales e industriales dentro del -  
área en estudio.
- 4.- Repetir todos los incisos del paso 2 y 3, para escuelas, parques,  
edificios públicos, terminales de autobuses y otros usos del sue-  
lo.
- 5.-Determine la concentración de personas para varias partes del área  
en estudio, para momentos diurnos y nocturnos.

El planificador del tránsito deberá confiar en sus colegas en varios -  
campos, si desea determinar la localización y densidad de la población.

PROCEDIMIENTO PARA LA PROYECCION DEL ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO.

1.- Obtención de los datos básicos para proyección:

a. Población actual y futura, distribución y densidad por zonas a ser utilizadas en el estudio.

(1) Población diurna (empleada, escolar) categorizada por zonas y por uso de la tierra.

(2) Población nocturna, categoría por zonas y por uso de la tierra.

b. Historia y tendencia de la población para:

(1) El área en estudio.

(2) El estado (total y urbano).

(3) La región (total y urbana).

(4) La nación (total y urbana).

c. Uso de la tierra presente y futuro dentro del área en estudio:

(1) Mapa general.

(2) Mapas detallados indicando la información.

d. Datos del tránsito:

(1) Volumen promedio diario anual (TPDA)

(2) Factores de la hora de máxima demanda (FHMD)

(3) Factores direccionales.

(4) Variaciones horarias, diarias y mensuales.

(5) Composición del tránsito.

(6) Líneas de deseo.

(7) Generación de viajes para diferentes usos de la tierra y especialmente para generadores de tránsito.

(8) Proyección de los vehículos registrados por uso y tipo de vehículo, gráficamente para:

- (a) Cada zona.
- (b) El área en estudio.
- (c) El estado.
- (d) La región.
- (e) La nación.

e. Datos adicionales que ayudan en la proyección:

- (1) Plan comprensivo.
- (2) Mapa topográfico que comprende el área.
- (3) Leyes de zonificación.

2.- Desarrollo de los factores de proyección:

a. Factores de proyección totales.

- (1) De una cuidadosa proyección de las tendencias de la propiedad del automóvil por habitante, camiones y autobuses registrados y su uso, uso del tren y de otros medios de transportación existentes en el área, establecimiento de la probable interrelación entre los medios de transporte en el futuro. Entonces establecer un factor de incremento general del vehículo - de motor dentro del área en estudio. Estos juicios son importantes y los resultados deberán ser revisados de nuevo para las proyecciones estatales, regionales y nacionales. Estas revisiones adicionales son una excelente guía de juicio, para las proyecciones mal interpretadas por la obtención erró-

nea de algunos datos.

- (2) Del cuidadoso estudio del registro existente de los vehículos de motor por habitante, así como todos los datos disponibles, se determina el factor de incremento para el vehículo de motor por habitante dentro del área en estudio. Así - estas tendencias son comparadas con las proyecciones nacionales, estatales y regionales.
- (3) Determine un factor de incremento total para los viajes en vehículos de motor para el área en estudio de la siguiente forma:
  - (a) Factor de incremento de la población.
  - (b) Factor del nivel de vehículos por habitante.
  - (c) Factor del uso promedio del vehículo.

Ejemplo: Población    Registro    Uso    Factor total de Inc.  
          1.75    X    1.25    X    1.10    =    2.41

b. Factores de incremento para las zonas (ver también paso 3d):

- (1) Para la proyección de cada zona desarrollar factores relativos a la futura existencia de los vehículos registrados por habitante y al uso del vehículo en vista de los datos obtenidos en el paso 1.
- (2) Determinar las relaciones de la población esperada a la población presente, tanto la población diurna como la nocturna. Así resultaran dos relaciones de población para cada zona.

- (3) Determinar para cada zona una combinación de relaciones futuras de la población diurna más la nocturna. Así resultará una tercera relación para cada zona.
- (4) La relación de población apropiada en el desarrollo del factor de incremento de los deseos de viaje para cada zona, deberá ser determinado considerando que el uso del suelo actual, contemplaría cambios en el futuro y la relativa significancia de cada uno.
- (5) La zona central de negocios y la de compras requiere una atención especial para la determinación anticipada del incremento en la generación de viajes. Por ejemplo el procedimiento generalmente usado en la obtención de los viajes a la zona de compra, es primero estimar la influencia de cada centro. Una estimación es entonces preparada, para indicar el número de viajes, los cuales se supone que cada centro comercial atraería de su zona de influencia si el centro comercial existiera actualmente. Los viajes a los centros comerciales actuales, son determinados de los datos obtenidos en el estudio de origen y destino. Se realizan estimaciones utilizando los viajes existentes por habitante para las zonas de influencia de los centros comerciales existentes, en conjunto para la población actual para las zonas de influencia de los centros de compras supuestos. Los factores de proyección son expandidos, obteniendo los viajes para el año de proyecto para cada centro comercial.



(6) Ejecutando estos pasos, los problemas para áreas despobladas o de baja densidad y que esperan ser desarrolladas próximamente en el año de proyecto ya calculado. El problema más obvio, es que un área sin población actual, producirá un factor de incremento de población infinito. Esta situación será discutida posteriormente para usos de tierra habitacional, comercial e industrial (ver paso 3b).

**3.- Destino final de viajes:**

a. En el área total de estudio, los viajes internos, calculados para el año de proyecto o el nivel de población futura, se determina aplicando el factor de incremento total en el paso 2a(3)

b. Total de viajes internos (año de proyecto o nivel de población) se determina para cada zona como sigue.

(1) Se obtiene un tercer factor que combina el factor de incremento de la población, el factor de incremento de la propiedad del vehículo y el factor de incremento del uso del vehículo, o sea se multiplican directamente. Esto produce un factor de incremento en los deseos de viaje. Los deseos de viaje futuros para la zona es entonces obtenido por multiplicación del factor de incremento por el nivel presente de los deseos de viaje.

(2) En el caso contrario en áreas habitacionales sin desarrollo actual, los deseos futuros de viaje son obtenidos considerando la densidad de población esperada en áreas, las cuales son similares al desarrollo esperado del área en cuestión. Esto-

no es el llamado método de analogía, pero es mejor descrito como el método de juicio-múltiple. Al aplicarse los procedimientos consisten en determinar áreas con características similares (densidad de población, distancia relativa a los centros de trabajo, al área comercial y los servicios de transporte) determinando el actual origen de los viajes por habitante de los datos del estudio de origen y destino, aplicando el dato anterior de acuerdo a la población esperada en cada sub-área del estudio.

- (3) El procedimiento para determinar el origen de los viajes anticipadamente en áreas industriales, es muy similar al descrito en áreas habitacionales. La población diurna esperada (principalmente empleos) se emplea para la generación de viajes por hectárea para áreas específicas de desarrollos industriales, usándose con un razonable éxito. Deberá prestarse una atención cuidadosa y especial al índice de decremento de la ocupación del vehículo. También deberá tenerse cuidado en no exagerar el desarrollo industrial.
  - (4) El procedimiento para determinar el origen de los viajes para áreas comerciales es similar. Una guía es aprovechar generalmente los datos de origen y destino y partir de éstos. Es importante la recopilación de los datos para obtener el incremento de la población y el incremento del uso del vehículo.
  - (5) Aplicando los pasos precedentes, se obtiene el destino y el origen de los viajes para cada zona de el área en estudio.
- c. La suma de los totales individuales de la zona deberán ser balanceados con el total del área en el destino de los viajes desarrollados en el paso 3a. Esto involucra ajustes (positivos y negativos) para los totales de la zona estimados en el paso 3(b)(5). Los totales zonales son los dignos de mayor confianza y por consiguiente su ajuste es menor

## GENERACION DE VIAJES

### Introducción.

La generación de viajes etapa del proceso de la planeación del transporte está interesada en la predicción de los futuros niveles de viajes de personas o vehículos, usualmente para el tránsito de zonas o combinaciones del mismo, conocidas éstas como áreas de tránsito. Las técnicas desarrolladas ensayan la utilización de relaciones observadas entre las características del viaje y el medio urbano, y están basadas sobre la suposición que "la estructura del viaje es una función de tres factores básicos".

- 1.- El modelo del uso del suelo y desarrollo dentro del área en estudio.
- 2.- Las características socio-económicas de los viajeros dentro de la población en el área en estudio.
- 3.- La naturaleza, extensión y capacidad del sistema de transportación en el área en estudio.

Estos factores básicos pueden ser representados por una variedad de variables interdependientes cuyos cambios de influencia se deben principalmente a la localización geográfica del área en estudio, y con los diferentes períodos de tiempo.

Los estudios de generación de viajes son una parte vital del proceso de planeación del transporte -es esencial que hoy en día - se determine la producción de viajes y sea conocida antes la naturaleza de la demanda de viajes futuros para ser evaluada. Una vez que el significado del uso de la tierra, características de población y transporte, que influyen en la demanda de viajes han sido identificados, son proyectados para estimar la cantidad total y clase de demanda de viajes.

Como parte del estudio de generación de viajes es práctica normal estimar el número de viajes originados en cada zona, esto es, viajes producidos y el número de viajes con destino de cada zona, o sea la atracción de viajes. Esto es asegurar que durante la etapa de distribución existen diferentes combinaciones de viajes, los cuales no son necesariamente reversibles, pueden ser adecuadamente definidos por ejemplo una combinación típica de viajes hechos por una persona durante un día laborable puede ser de su casa al trabajo, del trabajo a recreación (cine) y de recreación a su casa. En este caso la producción del viaje es de casa al trabajo, mientras la atracción al hogar es de recreación.

Realmente lo más común es la distribución de modelos sintéticos incorporando tanto a la producción como la atracción dentro del marco básico de trabajo.

Dependiendo del diseño del proceso completo del estudio, los modelos de generación pueden ser obtenidos para personas o movi-

mientos vehiculares, por propósito del viaje y por la hora del día, así, si el estudio es diseñado para satisfacer un destino de viaje y la repartición en los medios de transporte (por ejemplo: la asignación de movimientos en diferentes medios de transporte antes de la generación de viajes, son distribuidos entre las zonas). Entonces el modelo de generación de viajes - puede ser diseñado para obtener la producción de viajes en términos de - movimientos de personas por diferentes modos de viaje.

Si de otra manera en un viaje se utilizan varios modos de transporte, los cuales se distribuyen en diferentes partes del viaje entre las zonas, después del proceso de la distribución, entonces el modelo de generación de viajes deberá ser diseñado a obtener la producción de viajes en términos del total de personas en movimiento. Similarmente, hay viajes de personas que tienen diferentes propósitos de viaje, diferente - distribución y diferentes características de los medios de transporte, generalmente es esencial considerar la estratificación de viajes por propósuto en todo el proceso de la planeación del transporte. Así el análisis de generación de viajes deberá intentarse para diferentes propósitos de viaje. El número de diferentes propósitos de viaje varía con el diseño del estudio en particular. Una estratificación típica de los viajes basados en el hogar, podrá tomarse como sigue:

- 1.- Del hogar al trabajo
- 2.- Del hogar a compras
- 3.- Del hogar a otros destinos
- 4.- Del trabajo al hogar
- 5.- De compras al hogar
- 6.- De otros destinos al hogar.

La generación de viajes que no está basada en el hogar, ejemplo, movimiento de artículos de una planta industrial a otra, es usualmente estimada en términos de movimiento de vehículos. Dependiendo del diseño del estudio, éste puede ser estratificado en diferentes tipos de vehículo, haciendo que los movimientos no estén basados en el hogar, o puedan ser estimados como el total de vehículos producidos o atraídos.

Una estratificación común de los vehículos comerciales podrá ser ligeros, medianos y pesados.

Factores que influyen en la generación de viajes.

Factor del uso de la tierra

El uso del suelo es un conveniente medio para clasificar las actividades de los viajes generados, porque es un factor, el cual puede ser predicho con un razonable grado de exactitud, y es realmente cuantificable. Diferentes usos de la tierra producen diferentes características de generación de viajes, por ejemplo, área para desarrollo comercial u oficinas podrá esperarse que genere más viajes que un área abierta.

Similaramente la intensidad con la cual se desarrollen las diferentes actividades, pueden producirse diferentes características de generación por ejemplo, una hectárea de tierra residencial en un alto grado de densidad sería probable que produzca más movimiento de personas que la misma área para el mismo propósito con densidad baja. De otra manera el área residencial de baja densidad ocupada por menos y probablemente más caras viviendas podrá producir más viajes en vehículos privados que el área residencial con alta densidad.

Aunque son varios los usos de la tierra dentro del área urbana, para el estudio con propósito de generación de viajes es usual considerar solamente los usos de mayor significancia. Entre el 80-90% de todos los viajes tienen el inicio o el final en el hogar, el uso de la tierra para propósitos habitacionales es de importancia primordial. La cuantificación del desarrollo usado en los estudios de generación de via

jes varía con el tipo de estudio que desea obtenerse, puede por ejemplo ser representado en términos del número de hectáreas de tierra para aspecto residencial, número de viviendas unitarias, número de viviendas unitarias por hectárea, número de personas por hectárea o total de la población.

El uso de la tierra comercial e industrial, como centros de trabajo, es el siguiente punto significativo del uso de la tierra en relación con la generación de viajes, y como diferentes tipos de actividades comerciales e industriales, producen diferentes tasas de generación, es usual distinguir entre la fábrica y los servicios industriales, distribución al mayoreo y al menudeo, empleados en oficinas. Una variedad de medidas de intensidad de estas actividades puede ser usada, pero la más común tiende a ser número de empleos por unidad de área; y el área dada y el número de niveles en un edificio ocupado por ciertas actividades.

Otros usos de la tierra considerados significantes en términos de la generación de viajes, son desarrollos educacionales y recreativos. Instituciones educacionales, tales como universidades, colegios técnicos y escuelas que involucran varios ciclos, son grandes generadores de movimientos y en muchos casos en particular dado su ubicación, garantizan su atracción, por ejemplo. El estudio de Guilford, hecho por Buchanan y Partners incluye un amplio estudio de los efectos del desarrollo de la Universidad de Surley, sobre la generación y distribución en Guilford



La medida más comunmente usada de la intensidad de desarrollo en una institución educacional tiende a ser el número de alumnos. Los pequeños centros recreativos suelen ser ignorados en el proceso de la planeación del transporte, pero hay casos excepcionales donde cuidadosas consideraciones deberberán ser deliberadas a estos usos. - Ejemplo, grandes parques regionales tales como el propuesto , Lea Valley Regional Park y el Central London, área donde se localizan teatros y diversiones.

#### El Hogar.

1.- Tamaño de la Familia.- El viaje es una función de la actividad humana. Consecuentemente deberá existir una relación entre el número y frecuencia de los viajes hechos de el hogar y el tamaño de la familia. Schuldiner en su trabajo sobre el Area Modesto en California, ha demostrado que el promedio de la frecuencia de viajes se incrementa con el aumento de personas por familia, la tasa de aproximadamente 0.8 viajes por día por cada persona adicional. Este incremento en el número de viajes con el tamaño de la familia, es de cualquier modo relacionado principalmente con los viajes que no involucran el trabajo, los cuales - tienden a un nivel inferior de 4 personas por casa unifamiliar para el tamaño de la familia.

2.- Propiedad del vehículo de motor.- La capacidad de poder satisfacer las demandas de viaje es afectada por la disponibilidad de alternativas de transporte y la red vial existente. La propiedad del vehícu

lo de motor, o el número de vehículos disponibles para su uso en cada familia, ha sido fundamentado a tener una influencia significativa sobre la generación de viajes. Familias con más de un vehículo de motor tienden a generar más viajes por unidad que familias con solamente un vehículo de motor; aunque las familias con solamente un vehículo tienden a utilizarlo más intensamente.

La propiedad del vehículo de motor y el tamaño de la familia tienen una gran relación. Generalmente hablando, la familia grande tiene un más alto nivel de propiedad. Parecería que una generación de viajes mayor inherente a una familia más grande es solamente satisfecho donde suficientes vehículos de motor están disponibles para el uso de los miembros de la familia. Así en una familia sin vehículos de motor, puede esperarse que genere menos viajes que la misma familia la cual cuenta con 3 vehículos de motor. Una variedad de medidas de la propiedad del vehículo pueden ser usadas, las más comunes son número de vehículos por zona, propiedad de vehículos por persona o propiedad de vehículos por familia.

3.- Tipo de vivienda.- Puede ser argumentable que los tipos de unidad habitacional con una mayor permanencia tales como una casa sola, reflejan un alto grado de integración dentro de la comunidad local en la parte del aspecto habitacional y conducen a una alta tasa de generación de viajes. Recíprocamente a menor permanencia en la vivienda tal como, un cuarto de hotel, resulta una más limitada integración -

con la sociedad local, resultando una menor tasa de generación de viajes. Verdaderamente Schuldiner establece que este fué el caso, aunque la diferencia no fué tan marcada como era esperada, verbigracia, no obstante - el promedio de viajes con origen en el hogar incrementados con la permanencia de los habitantes en su casa, donde el tamaño de la familia y el - nivel de propiedad de vehículos fueron tomados en consideración, la diferencia en tasas de generación no fué tan grande como aparece a primera - vista.

4.- Habitantes Ocupados.- La ocupación del jefe de la - familia es uno de los mayores indicadores del nivel de vida de la familia y refleja en cierta manera el ingreso familiar. En términos generales ha sido establecido que la proporción de viajes al trabajo para el grupo empleado ventajosamente decrece como el estado ocupacional se incremen- ta, no obstante que la proporción de viajes para propósitos no basados en el trabajo varía poco entre los varios grupos con excepción de los desempleados. El número de residentes empleados es de importancia en los estudios de generación de viajes porque de sus relaciones con los movimientos al trabajo. Está cercanamente relacionado, al total de la población residente.

5.- Ingreso Familiar.- La capacidad de pago para los viajes afecta el número de viajes generados por una familia. Así familias - con un alto ingreso pueden generalmente satisfacer más sus demandas de movimientos que familias con bajos ingresos. Como uno esperaría el in-

crecimiento en el ingreso familiar de primacía a una mayor producción de viajes.

Otros factores que influyen en la generación de viajes.

Una variedad de otros factores relacionados con las características de la población residente, son considerados a estar relacionados con la generación de viajes. El valor establecido de una propiedad es considerado indicativo del nivel de ocupación del dinero.

La edad de la población es generalmente tomada en consideración en el análisis de la generación de viajes sobre la base de que diferentes grupos de edades producen diferentes demandas de movimientos, así los adolescentes entre 15 y 20 años podrá esperarse que produzcan mayores viajes del tipo social y recreativo que grupos de edades mayores.

Similarmente, las características socio-económicas de la población podrá esperarse que produzcan diferentes demandas de movimientos, así los obreros en una fábrica o trabajadores manuales, podrá esperarse que produzcan movimientos de características diferentes a los ejecutivos o técnicos. De nuevo, un trabajo preliminar de Schulmaner ha demostrado en los análisis de generación de viajes basados en las características socio-económicas tienen alguna promesa para el futuro, especialmente en término de un mejor conocimiento de la longitud del viaje y los viajes de intercambio para trabajo y social. De cualquier modo un -

trabajo reciente de Taylor ha demostrado que para todos los modos de viaje, la longitud del mismo y el propósito, aparecen pequeñas relaciones entre las características socio-económicas examinadas por él y la generación de viajes.

El grado de urbanización exhibido por un área, puede usarse para representar el nivel de integración de la familia en la comunidad local. Schuldiner obtiene un índice de urbanización basado en la tasa de fertilidad, tasa de la participación femenina en el trabajo, y el índice de familias en casas solas.

Otra medida del grado de urbanización, la cual es generalmente usada, es la distancia a la zona central. El argumento para el uso de este factor es que las características de la población y desarrollo y de aquí los movimientos de demanda cambian con la distancia a la zona central, así dentro de la zona central el desarrollo residencial puede consistir grandemente "de temporada", hotel, llanos, casas de huéspedes ocupada por jóvenes, solteros o viajeros, mientras que fuera de los suburbios puede consistir grandemente de casas unifamiliares ocupadas por matrimoniales con familia.

La calidad de las facilidades de transportación y el resultado del nivel de accesibilidad deberá afectar la generación de viajes. Dejando a un lado los trabajos preliminares sobre los índices de accesibilidad en Norte América y Europa, es poco conocida cualquier relación que pudiera existir. Más adelante la investigación en este campo podría re-

suutar provechosa para las técnicas usadas a predecir la generación de viajes futuros.

Una discusión de las muchas variables que afectan la generación de viajes indica su mutua interdependencia y potencial - del uso a través de técnicas estadísticas para la estimación de la generación de viajes. Así es usualmente obtenido a través del análisis de - regresión lineal múltiple, aunque técnicas más recientes tales como un análisis de categorías han sido desarrollados para estimar futuros niveles de generación de viajes.

Generación de viajes por análisis de regresión lineal múltiple:

El análisis de regresión lineal múltiple es una técnica estadística generalmente usada para estimar la futura generación de viajes, donde dos o más factores independientes, son sospechosos de afectar simultáneamente la cantidad de viajes. Esta técnica cuantifica la influencia separada de cada factor actuando en asociación con otros factores, y en el análisis se obtiene, basados en el volumen, uso de la tierra y datos socioeconómicos, una ecuación de la siguiente forma.

$$Y = K + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

donde "Y" es la variable dependiente (ejemplo: medida del tránsito por zonas en términos del movimiento de personas, o movimientos por medio de transporte y propósito).

"X"<sub>1</sub> a "X"<sub>n</sub> son variables independientes relacionadas por ejemplo a uso de la tierra en la zona, y características socio-económicas.

"b<sub>1</sub>" a "b<sub>n</sub>" son los coeficientes respectivos de las variables independientes y "K" es una constante incluida para representar que parte del valor de "Y" no es explicada por las variables independientes.

En un análisis de regresión típico, los datos relacionados a los valores presentes de la variable dependiente (Y) y las variables independientes (X<sub>1</sub> a X<sub>n</sub>), para todas las zonas del área bajo estudio. - La técnica estadística de "Mínimos Cuadrados" o sea el proceso adecuado es entonces aplicado a determinar esos valores de los coeficientes de regresión (b<sub>1</sub> a b<sub>n</sub>) y la constante (K), los cuales son los más adecuados a los valores dados.

Utilizando la ecuación de regresión y resolviendo para los valores futuros estimados de las variables independientes, obtenemos la variable dependiente (Y viajes generados por cada zona), así suponer que un análisis de regresión múltiple lineal obtenido de los valores presentes, deriva una ecuación de regresión de la siguiente forma.

$$Y = - 0.59 X_1 + 0.74 X_2 + 0.88 X_3 + 39.6 X_4 + 112$$

donde: Y = Número de viajes al trabajo por todos los medios de transporte

X<sub>1</sub> = Número de viviendas unitarias

X<sub>2</sub> = Número de personas empleadas

X<sub>3</sub> = Propiedad del vehículo de motor

X<sub>4</sub> = Distancia al área central.

Una obtención estimada de "Y" para los datos del estudio, estimación apropiada de "X"<sub>1</sub> número de viviendas unitarias, "X"<sub>2</sub> número de personas empleadas, "X"<sub>3</sub> propiedad del vehículo de motor y "X"<sub>4</sub> distancia al área central, son sustituidas en la ecuación, y de esta manera resulta, usando los coeficientes establecidos anteriormente.

Y - Número de viajes al trabajo por todos los medios de transporte para la zona

$$\begin{aligned} &= 0.59 X \text{ el número de viviendas unitarias en la zona} \\ &+ 0.74 X \text{ el número de personas empleadas en la zona} \\ &+ 0.88 X \text{ el número de vehículos de motor en la zona} \\ &+ 39.6 X \text{ la distancia al área central} \\ &+ 112 \end{aligned}$$

Problemas relativos con el desarrollo de modelos lineales de regresión.

La selección y formulación de las variables\* es fundamental en el modelo de generación de viajes. La variable dependiente (Y) - deberá medirse adecuadamente para ser encontrada, mientras las variables independientes deberán explicar adecuadamente su correlación con la variable dependiente .

Dos criterios fundamentales existen para la formulación de variables, y que son:

1.- Deberán ser del mismo tipo, así las variables de punto y agregadas no deberán ser mezcladas.

2.- Deberán de interpretarse claramente, así deben ser conocidas y cuantificables.



Dos suposiciones son necesarias antes que la relación lineal múltiple pueda ser aplicada a la generación de viajes las siguientes:

1.- Que exista una relación lineal entre la variable dependiente e independiente.

2.- Que la influencia de las variables independientes es agregada, así la inclusión de cada variable contribuye a obtener el valor de la variable dependiente.

Es práctica normal realizar un examen de la relación lineal entre las variables, dibujando el diagrama de dispersión de una muestra de los datos y visualmente inspeccionar los resultados. Si la relación lineal no existe, entonces las variables originales pueden ser modificadas para producir una relación lineal tomando el logaritmo, cuadrado, cubo o recíproco de la variable, así Cardiff Development and Transportation Study obtiene una ecuación de regresión para predecir la propiedad del automóvil utilizando el logaritmo del ingreso, y el logaritmo de la densidad de población, superando de esta manera los problemas asociados con la regresión lineal. La ecuación final, llevo la forma:

$$\begin{aligned} \text{Automóviles por familia} &= - 1.976 \\ &+ 1.03 \text{ X logaritmo del ingreso} \\ &- 0.366 \text{ X logaritmo de la densidad} \end{aligned}$$

---

\* Una variable de punto, por ejemplo, es densidad, área o tasa de crecimiento, una variable agregada es población total. Usualmente una variable de punto tiene que ser multiplicada por alguna cantidad para obtener una variable agregada.

Si dos variables independientes son altamente interrelacionadas generalmente no producen influencia sobre las variables dependientes. Es posible examinar para ésto, llevando a cabo exámenes para la correlación entre las variables independientes sospechosas de tener una alta interrelación. Si el coeficiente(s) es alto, entonces se supone que la interrelación entre las variables independientes examinadas es también alto. El problema puede ser superado por la eliminación de la variable de menor importancia en el modelo o por combinación de dos variables obteniéndose una nueva variable agregada que pueda ser cuantificable. Si todas las variables deberán ser incluidas en el modelo entonces la técnica estadística del análisis del factor puede ser adaptada a variables agregadas dentro de variables independientes y por tanto influencias adicionales. Los juicios básicos del análisis de regresión lineal múltiple en generación de viajes son: (1) porque es de naturaleza empírico falla al establecer una relación causal entre variables dependientes e independientes y (2) en el uso de la ecuación obtenida para propósitos de predicción ha de ser supuesto que los coeficientes de regresión establecidos ahora deberán ser relevantes en el futuro.

#### Análisis de Categorías.

En un intento por avanzar en algunos problemas asociados con el uso de las técnicas de regresión múltiple de viajes el "Análisis de Categorías" fue desarrollado e introducido en la segunda fase de "London Traffic Survey". Este método está basado en la suposición de que la tasa de generación de viajes para diferentes categorías de familias permanecerá constante en el futuro. Así por

familia y el número de tales familias para algunos datos futuros, -  
estimados de la generación futura de viajes pueda ser derivada con  
buén resultado. Poniendo cada familia dentro de una de las 108 categorías basadas sobre la localización y características familiares. -  
Del estudio de los datos relacionados con la generación de viajes presente, un promedio de la tasa de generación de viajes es establecida.  
Esta tasa promedio es entonces usada en conjunto con las estimaciones futuras del número de familias en cada categoría permitiendo así  
que las tasas de generación futuras puedan ser estimadas, para diferentes modos de viaje (conductores, pasajeros y transporte público y  
seis propósitos de viaje (trabajo, educación, negocios, compras, social y no basados en el hogar).

Las suposiciones fundamentales del análisis de categorías son que (1) la familia es una unidad independiente en la cual la  
mayoría de los viajes empiezan o terminan en respuesta a las necesidades de los miembros de la familia y es la unidad fundamental -  
en el proceso de generación de viajes (2) los viajes generados por la  
familia dependen sobre las características de la familia y su localización relativa a las facilidades que requieren, tales como lugar de  
trabajo y tiendas. (3) Familias con una serie de características produce  
un diferente promedio de tasas de generación de viajes que familias  
con otras características. (4) Tasa de generación de viajes es estable  
sobre el tiempo y longitud como factores externos a la familia  
cuando la tasa de generación fue primeramente calculada.

Las 108 categorías de familias son obtenidas por considerar  
esas características familiares mas fácilmente aislado y las cuales

son consideradas a ser responsables por una variación sistemática en generación de viajes. Hay que considerar tres factores: ingresos disponibles, nivel de propiedad del vehículo y tamaño y estructura de la familia. Para cada característica un número mínimo es seleccionado como sigue:

Los siguientes factores son considerados para una sociedad inglesa.

**Ingreso disponible**

- 1) Menos de 500 libras.
- 2) De 500 a 1000
- 3) De 1000 a 1500
- 4) De 1500 a 2000
- 5) De 2000 a 2500
- 6) Mas de 2500

**Propiedad del Vehículo**

- 1) Ningún vehículo por familia
- 2) Un vehículo por familia
- 3) Mas de dos vehículos por familia

**Estructura de la familia**

- 1) Ningún empleado residente y un no empleado adulto.
- 2) Ningún residente empleado y dos o mas residentes desempleados.
- 3) Un residente empleado y uno o ninguno adulto desempleado.
- 4) Un residente empleado y dos o mas adultos no empleados.
- 5) Dos o mas residentes empleados y uno o ninguno adultos desempleados.
- 6) Dos o mas residentes empleados y dos o mas adultos desempleados.

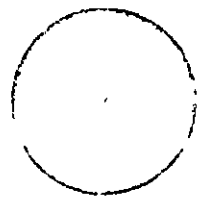
B I B L I O G R A F I A

- Trip Characteristics and Traffic Assignment, Bulletin 224 (1959)
- Trip Generation and Urban Freeway Planning, Bulletin 230 (1959)
- Highway Research Board.- 2101 Constitution Avenue.-Washington, D.C.
- Land Uses in American Cities (1955) by Harland Bartholomew  
Harvard University Press.-  
Cambridge, Massachusetts.
- Urban Land Use Planning (1965) by F. Stuart Chapin, Jr.  
University of Illinois Press.-  
Urbana, Illinois.
- Calibrating and Testing a Gravity Model for Any Size Urban Area (1963)  
U. S. Department of Commerce.- Bureau of Public Roads.  
Washington, D C.
- Corradino J. C. , The effect of the highway system and land  
development on trip production, Traffic Engineering (1968).
- Schuldiner P. W. , Trip Generation and the Home; Highway Research  
Board, Bulletin No. 347 (1962)
- Hill D. M. and Brand D. , Methodology for developing activity  
distribution models by linear regression analysis, Highway Research  
Board, Record No. 126 (1966)
- Wootton H. J. and Pick G. W. , A model for trips generated by  
households, Journal of Transport Economics and Policy (1967).





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



## PLANIFICACION VIAL URBANA

### LOCALIZACION DE POBLACION

### LOCALIZACION ANTICIPADA DEL USO FUTURO DE LA TIERRA

Ing. Luis Francisco Balcazar Quintero

Enero de 1976





## LOCALIZACION DE POBLACION Y LOCALIZACION ANTICIPADA DEL USO FUTURO DE LA TIERRA.

### GENERALIDADES

Los estudios tendientes a determinar el uso que se dará en un futuro al área disponibles, dependen fundamentalmente de los requerimientos de la futura población, así como de las obras de infraestructura para la transportación de personas y bienes.

Dichos estudios, se basan primordialmente en las proyecciones de tránsito hacia el futuro, por lo que deben tomarse en cuenta las cuatro razones principales que indican el mismo número de actividades que comúnmente realiza la gente, el trabajo, las compras, la diversión y el descanso. La proyección tiene que tratar necesariamente con las interrelaciones de su ubicación anticipada de los futuros usos del suelo, para cada una de sus actividades básicas.

Generalmente no se cuenta con estudios anteriores sobre la utilización futura de la tierra, por lo que el planificador deberá proceder con mucho cuidado durante el proceso de investigación de datos básicos tendientes a formar el criterio de planificación.

### UBICACION ANTICIPADA DE LOS FUTUROS USOS DE LA TIERRA

El estudio de este concepto, depende en gran parte de las obras de infraestructura actuales y futuras para el transporte, así como por los requerimientos de área para la futura población.

Los mas eficaces indicadores de los usos futuros del suelo, son las críticas hechas a la población, con el fin de llegar a establecer un plan cuya amplitud depende de la zona que se estudia, desde luego deberá tomarse en cuenta un reglamento de zonificación establecido por las autoridades competentes conforme a un plano regulador. El objeto de lo anterior es el de ubicar correctamente a los elementos urbanos dentro del área.

#### FUTURA CONFIGURACION URBANA.

El proyectar puntos ocupacionales metropolitanos no es tarea fácil, pero es necesario que el planificador urbano tenga conocimientos correctos de las actividades de los habitantes de una ciudad.

Primeramente a pesar de las numerosas objeciones que podrían plantearse acerca de las actividades antes indicadas, es posible tomar en cuenta que las partes centrales de cada población pierden empleos y habitación, actividades que son absorbidas por las áreas circundantes suburbanas, lo cual es un proceso que está en constante aceleración. El crecimiento, a veces lento, y en frecuente declinación hacia las áreas centrales, llegan al punto en que los decrecimientos absolutos de los empleos en las partes centrales de cada ciudad son un hecho frecuente.

El segundo lugar, las estructuras geográficas metropolitanas están sujetas a rápidos cambios. Si esas tendencias históricas continuaran

los futuros núcleos urbanos tendrían núcleos demográficos y ocupacionales que irán decreciendo. A medida que los empleos y la habitación se distribuye más uniformemente sobre la superficie urbana, los centros metropolitanos se vuelven menos densos. Las grandes - concentraciones ocupacionales que caracterizan a algunas ciudades, pueden formarse menos pronunciadas.

La concepción visual más común de la distribución del área ocupacional, será una curva de campana con su máximo al centro. El - crecimiento metropolitano y la aglomeración en varias ciudades o en varios puntos de una ciudad, indican que a esa curva habrá que agregar algunos "picos" adicionales. Aún así, la curva en forma de cono sigue siendo una estructura espacial básica, los subcentros de los alrededores son simplemente una elaboración del modelo histórico de las ciudades

No obstante, si persisten los cambios en las distribuciones de empleo, se producirán otros con mayores en la configuración del área metropolitana. Los "picos" extremos se irán "desgastando" ó se disminuirán en una manera constante una vez que se vea la mano del planificador ó urbanista

En muchos casos, la ciudad y el suburbio de la misma, presentan grandes similitudes proporcionales. A la larga, estos procesos podrán conducir a una distribución demográfica y ocupacional relativamente "plana"

que difiere de la curva que anteriormente indicamos.

Por otra parte, no se cuenta generalmente con datos precisos, pero aunque es imposible afirmarlo con toda certeza, se considera que los empleos se dispersan lentamente en el área metropolitana.

Es posible pensar en una conjetura, consistente en círculos concéntricos que podrían ser el modelo del futuro, es decir, las oportunidades de empleo estarían en la periferia y las zonas habitacionales en la zona central; o viceversa. Esta imagen de la estructura metropolitana es muy distinta de la que se tiene normalmente. Es evidente que una distribución tan radical de las zonas laborales y habitacionales, afectaría profundamente a los múltiples problemas urbanos, de los cuales el transporte de personas y bienes es el aspecto de mayor importancia.

Experiencias en los E.E.U.U.

En casi todas las áreas metropolitanas de los Estados Unidos se prepararon pronósticos sobre el uso de la tierra que describen, casi sin excepción, un cuadro de los probables desarrollos futuros en el uso de la tierra. Los pronósticos de empleos y población para Filadelfia correspondientes a un período de 25 años, 1960-1985, preparados por la Comisión de Planeamiento Regional del Valle del Delaware (el organismo supervisor para el Estudio del Sistema de Transporte Penn-Jersey), son típicos de estas previsiones de desarrollo urbano. En -

lo concerniente al Distrito Comercial Central (DCC) de Filadelfia, los pronósticos señalan "un crecimiento importante de los empleos de oficina, un crecimiento moderado en los empleos en formas minoristas, estabilidad o declinación en otros grupos ocupacionales y poco cambio en el número de familias". Sin embargo, el esperado incremento del 52 por ciento de los empleos no manufactureros conduce a un aumento ocupacional total del 29 por ciento, o sea 12 por ciento anual. Estas proyecciones de la población y de los empleos llevan a los autores a la siguiente conclusión: "El efecto continuado de estas dos tendencias - dispersión residencial y actividad económica relativamente centralizada - será una pronunciada separación geográfica entre los lugares de residencia y los empleos, lo cual condujo en el pasado a un enorme volumen de largos viajes radiales en las horas pico. Por lo tanto, las necesidades en materia de transporte para la región que se manifiestan en 1960, no sólo persistirán en el futuro, sino que se incrementarán de manera intensiva".

Uno de los hechos más notables acerca del transporte urbano actual - en los Estados Unidos es el grado en que está dominado por la carretera. Es bastante claro que, nos guste o no, el automóvil es una realidad y seguiremos utilizándolo, al menos por algún tiempo. De acuerdo con el Censo de Población de 1960, alrededor del 64 por ciento de todos los viajes hacia los lugares de trabajo en las áreas urbanas de los Es-

tados Unidos se realizaban en automóvil. Sólo alrededor del 20 por ciento de todos los viajes hacia los lugares de trabajo en las áreas urbanas se efectuaban utilizando el transporte público; si consideramos únicamente los núcleos de esas áreas urbanas, la cifra correspondiente al transporte público es mayor, pero sólo llega al 26 por ciento. En realidad, el número de personas que van caminando a su trabajo en las áreas urbanas asciende casi a la mitad de las que utilizan los medios públicos de transporte.

### EL TRANSPORTE

Haremos un compendio de la evaluación de las alternativas del transporte y el uso futuro de la tierra, examinando las consecuencias que originan las obras de infraestructura para el transporte.

Se considera que el transporte futuro es en sí un servicio y no una finalidad. El grado en que el público y las compañías encargadas de operar los sistemas de transportación comparten la responsabilidad de proporcionar el servicio, es una decisión que no consideraremos por ahora.

El movimiento del usuario se relaciona con el grado de eficiencia que se le proporciona, por lo que influyen en una manera definitiva, algunos parámetros tales como tiempo, costo, comodidad y conveniencia, que son características eminentemente operacionales. Asimismo se habrán de examinar las razones por las que la gente viaja

Otro grupo importante a considerar, es el de los no usuarios pero que indirectamente influyen en el sistema de transportación. El proyectista de transporte debe estar consciente de las consecuencias que estas personas provocan sobre las decisiones en la decisión de invertir en algún programa de transporte. Para ello, es conveniente unificar criterios para evaluar algunos factores tales como el mismo transporte, el uso de la tierra, factores sociales y ambientales.

La evaluación técnica de las últimas dos décadas pasadas ha influido en el planificador de transportación con nuevas ideas. En b referen- te a la predilección del transporte relacionado con las nuevas áreas urbanas, el planificador y el urbanista deberán disponer de equipos modernos electrónicos para el proceso de datos que permitan coor- dinar y establecer una decisión consecuente de la gran cantidad de información que es posible obtener. La computadora se usará para sintetizar el comportamiento de viajes, así como para ayudar a se- leccionar planes eficientes de transportación y el uso de la tierra.

Es conveniente experimentar las formas como se proyectará un sistema de transportación, procurando contruir rutas que recorran -- áreas suburbanas y no céntricas, principalmente transporte masivo de larga distancia. Una análisis exhaustivo y el mejoramiento de - las estrategias actuales facilitarán la forma de idear los futuros sistemas de transportación.

Es necesario aceptar que las ciudades experimentan constantes cam

bios físicos, tales como la creación de nuevos centros de trabajo, residenciales, recreativos, etc., lo que es consecuencia de las nuevas tecnologías cambiantes de fabricación, comercialización y comunicación. Podemos considerar que es un grave error en la creación de sistemas de transportación, el no atender a su debido tiempo el servicio a nuevos centros de agrupación humana particularmente las que se encuentran en la periferia de las grandes ciudades.

El problema a resolver, es el determinar si las ciudades al crecer, optarán por resolver el problema del transporte utilizando el sistema masivo ó la autodisciplina necesaria para organizar y capacitar la red de carreteras urbanas que satisfagan las necesidades de transportación, todo ello depende de factores económicos, sociales, políticos, etc. Si consideramos que un gran porcentaje del transporte público se efectúa por carreteras y calles urbanas, las posibilidades de que esa autodisciplina reditue beneficios parece bastante promisorias; en nuestro país, una gran cantidad de personas prefiere ineludiblemente el vehículo particular al transporte masivo.



## LA PLANEACION DE LA CIUDAD

Se puede considerar que la concentración urbana seguirá incrementándose, dado al crecimiento demográfico; por lo que es menester preparar los planes necesarios a fin de que ese aumento sea con el mínimo de complicaciones

El número de ciudades en nuestro país que padecen los crecimientos originados por el desarrollo tecnológico, va en aumento, con las consecuentes molestias a los habitantes de las mismas, por lo que debemos estimular los programas de desarrollo regional y nacional, a fin de canalizar debidamente dicho crecimiento, particularmente, para que los nuevos pobladores ocupen las áreas más adecuadas dentro de la estructura urbana.

Dichos programas, constan de varias etapas, siendo la primera de ellas, la delimitación del área de la ciudad, con una visión necesaria que permita modificarla a medida que se va presentando el crecimiento demográfico.

El suelo urbano, elemento primordial para la planeación de una ciudad, es un producto material que guarda íntima relación con otros elementos, entre los que se encuentra primordialmente el hombre; por lo que no puede haber una planeación en el uso futuro del área urbanizable, que no tome en cuenta el factor humano.

En nuestras ciudades, tenemos generalmente, una zona central y comercial, rodeada de colonias residenciales que cuentan con todos los servicios,

y otras más, de menor índice socioeconómico, que en la mayoría de los casos no son beneficiadas por todos los servicios urbanos. Estas colonias generalmente se encuentran en los alrededores de las zonas industriales, que es adonde acuden las personas que emigran de pueblos y del campo en busca de mejores perspectivas económicas, aún a sabidas de las grandes carencias que padecerán.

Lo anterior, ocasiona muchas veces grandes problemas al planificador urbano, en virtud de que se aunan otros problemas, tales como el paracaidismo, la aparición de fraccionamientos clandestinos no autorizados, así como la invasión lenta y la venta de terrenos ejidales.

De ahí, se sigue una segunda etapa en los estudios de planificación, consistente en elegir objetivos y métodos de trabajo, lo cual hace aparecer, en nuestro caso, los importantes problemas a resolver: La falta de datos que indique el comportamiento del crecimiento y la evaluación de posibles alternativas de solución.

Otra grave limitación es la falta de coordinación entre las diversas especialidades que intervienen en la planeación, en virtud de que en ello intervienen factores legales, económicos, sociales, políticos e ingenieriles en sus diversas ramas; por lo que cada especialista ve el problema desde su particular punto de vista.

En nuestro país, se han llevado a cabo estudios tendientes a regular el crecimiento de algunas ciudades, tales como Guadalajara y Monte rrey, que han crecido hasta cierto punto ordenadamente, sin decir - con ello que no tengan "manchas" notables; sin embargo, se ha visto que si se regula el uso del suelo destinado a la habitación, es factible resolver en un gran porcentaje la solución del área destinada a zonas laborables, recreativas, de descanso y de transportación

No podemos ni debemos cerrar los ojos ante las experiencias obtenidas por países desarrollados que nos llevan muchos años de experiencia por delante pudiendo mencionar entre ellos a nuestro vecino del norte.

Por lo tanto, el trabajo del planificador mexicano, consiste en remodelar las ciudades existentes, mediante técnicas que estudien el crecimi - ento de la población, mediante inversiones adecuadas al presupuesto disponible; basándose en una buena organización que se obtiene mediante una adecuada reglamentación, la cual a la vez, deberá complementa - re con personal calificado que sepa interpretarla.

Podemos resumir lo anterior, diciendo que un adecuado programa de desarrollo regional, consta de las siguientes etapas:

1. - Delimitación de la población y del área.
2. - Objetivos a seguir

- Acomodo del elemento humano.
- Transportación del mismo.
- 3 - Coordinación de las diversas especialidades que intervienen.
- 4.- Reglamentación e interpretación correcta de la misma

BIBLIOGRAFIA :

El Enigma Metropolitano - James Q. Wilson

Traffic Engineering Handbook - John E. Baerwald

Planificación Analítica del

Transporte - Robert Lane

Timothy J. Powell

Paul Prestwood Smith

Traducido por:

Santiago Tellez Olmo.





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



PLANIFICACION VIAL URBANA



LA INGENIERIA DE TRANSITO Y EL TRAZO VIAL URBANO

Ing. Rafael Cal y Mayor

Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.  
Teléfonos 521-30-95 521-73-35





DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
Dirección General de Ingeniería de Tránsito y Transportes

LA INGENIERIA DE TRANSITO Y EL TRAZO VIAL URBANO

I N D I C E

- 1.- Antecedentes del trazo de ciudades.
- 2.- Origen del trazo en México, D. F.
- 3.- Invasión del vehículo de motor.
- 4.- Demanda de movimiento en las ciudades.
- 5.- Tendencia naturalista.
- 6.- Desarrollo del trazo en otras ciudades.
- 7.- Planes para el Distrito Federal.
- 8.- Factores que agravan el problema.
- 9.- Conclusiones.

## LA INGENIERIA DE TRANSITO Y EL TRAZO VIAL URBANO

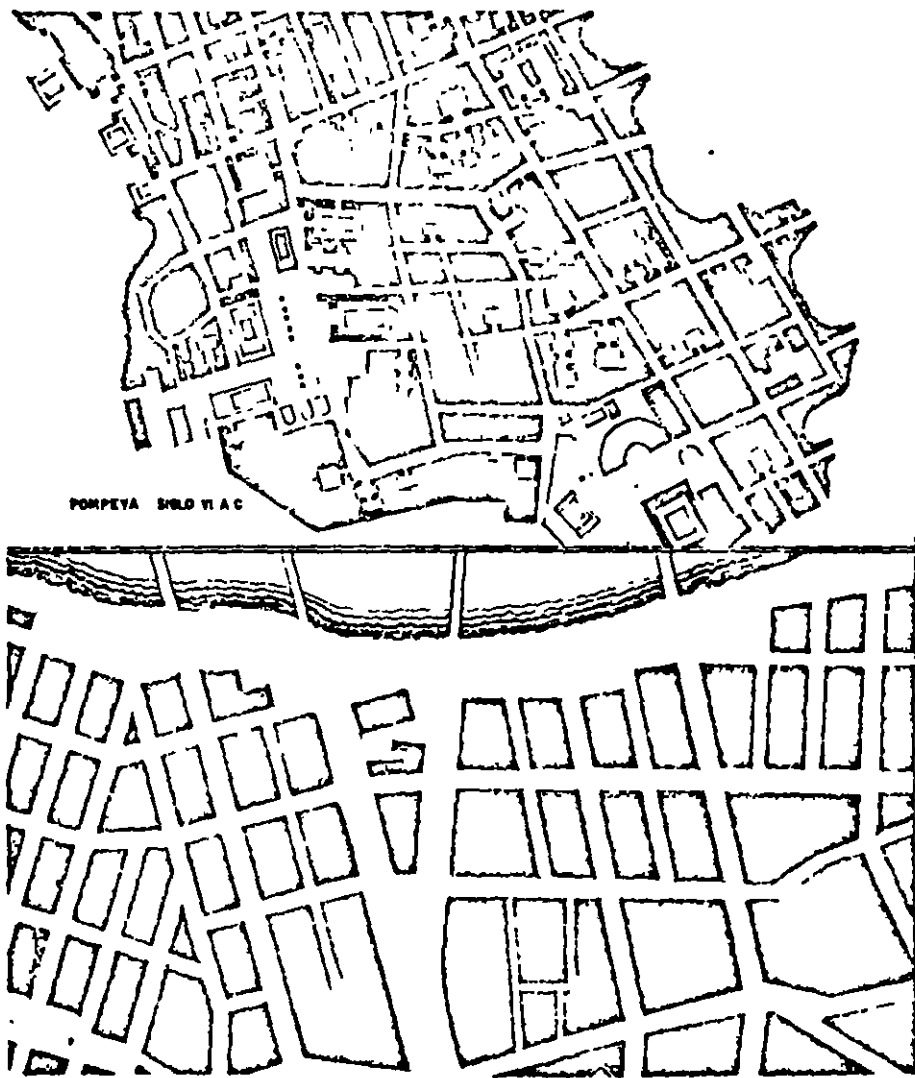
Ing. Rafael Cal y Mayor

75

### 1.- Antecedentes del trazo de ciudades.

Es un hecho conocido que los centros de población han nacido en el pasado básicamente cuando el hombre dejó de ser nómada y, aprovechando la agricultura, se estableció en las zonas que le brindaban sustento, agua y cierta protección. Alrededor de un núcleo de edificaciones primitivas se desarrollaron las primeras poblaciones. Más tarde ese núcleo se constituyó en centro cívico, religioso y comercial. Esta situación se presentó lo mismo en la antigua Grecia que en el imperio Azteca.

En la antigüedad muchas poblaciones cobraron importancia por las comunicaciones marítimas y terrestres, como las que estableció el imperio Romano desde 300 años antes de Cristo. Durante los siglos I, II y III de nuestra era los Romanos fueron factor dominante en la comunicación y crecimiento de las ciudades desde la Península Ibérica hasta China. Los siglos IV, V y VI, ven la declinación del imperio y la desaparición de los caminos. En el siglo VII el sistema feudal fuerza la reducción de la población en las ciudades y los viajes. A mediados del siglo se abandona todo esfuerzo por conservar las rutas del imperio Romano. A finales de ese siglo y en el siguiente, las invasiones de los Vikingos, desde el norte, y de los Sarracenos, desde el Sur, preceden la apertura, de nueva cuenta, de las rutas terrestres. Esto permite que se vuelva a extender el comercio. En el siglo IX la economía feudal, las guerras civiles y las invasiones, in



Trazo comparativo de una ciudad antigua, Pompeya, con una ciudad actual, Ciudad Juárez.

ciuyendo la de los Turcos, contrarrestan los esfuerzos por extender el comercio. Es hasta el siglo X, iniciación de la Edad Media, cuando se registra un incremento fijo en la población, el comercio y el tránsito de personas y efectos.

En el siglo XII las ciudades crecen, emergiendo muchas nuevas, vinculadas estrechamente con el comercio. Su trazo es irregular, muchas veces desprovisto de un plan fijo; otras veces, es el de una cuadrícula. Este trazo, atribuido por algunos a Hipodamo de Mileto, data de varios siglos antes de Cristo y se puede ver aún en las ruinas de algunas ciudades como Pompeya. Sin embargo, muchas ciudades crecieron según un patrón que podría compararse con una telaraña, del centro hacia afuera y por tramos sin continuidad.

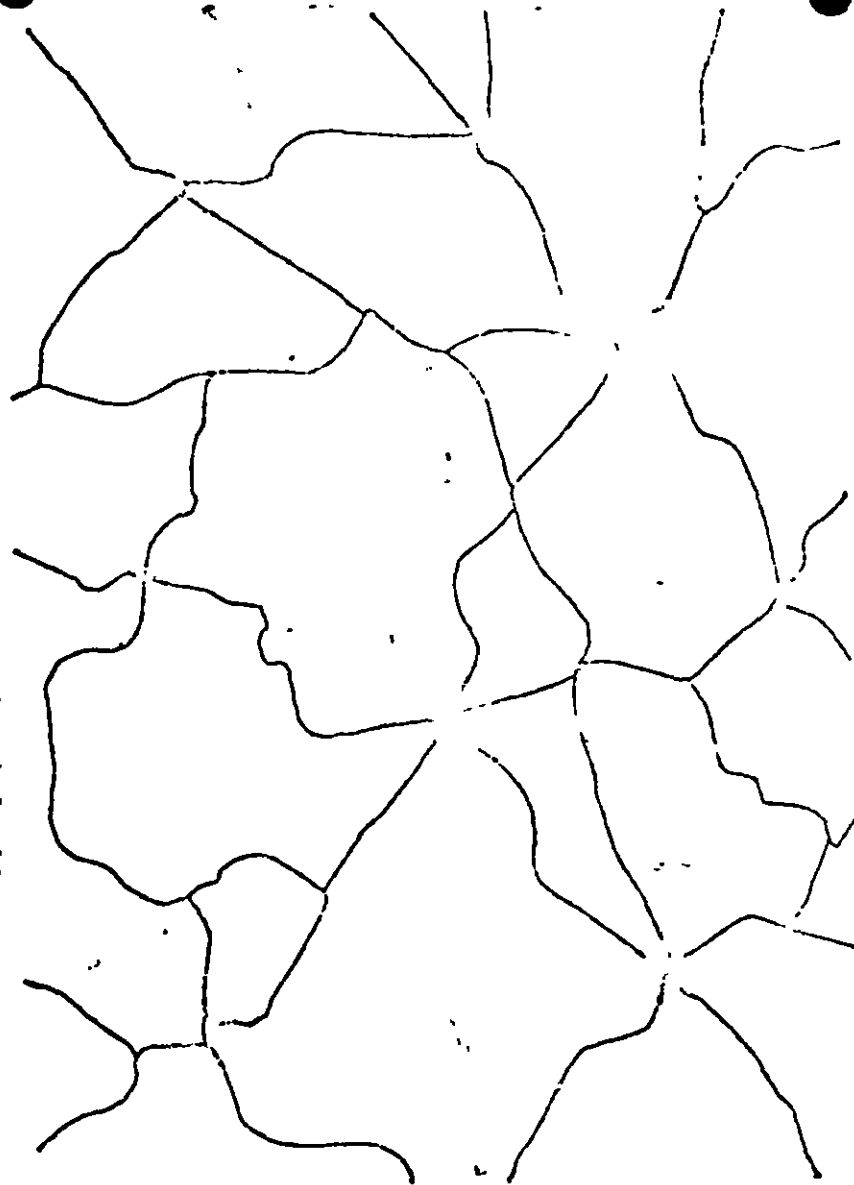
Las ciudades viejas de Europa nos presentan en la actualidad, los vestigios de aquel desarrollo falto de planeación, de núcleos agrupados estrechamente y algunas veces amurallados. Fuera de esos núcleos antiguos de trazo caprichoso, es frecuente encontrar un crecimiento que sigue el diseño de cuadrícula rectangular; con simples ampliaciones en la dirección que llevan los caminos que la comunican con otras poblaciones.

## 2.- Origen del trazo en México, D. F.

El cronista Hernando Alvarado Tezozómoc, en su "Crónica Mexicana", de 1598, señala el año de 1325 en el que los aztecas llegaron huyendo de los naturales de Culhuacan y se establecieron en medio de la laguna. Mucho debe haber progresado el imperio azteca y su capital, Tenochtitlan, en los siguientes 200 años, por lo que expresó el conquistador Hernán Cortés en su



Poblaciones comunicadas por carretera, dotadas de anillos para evitar penetración.



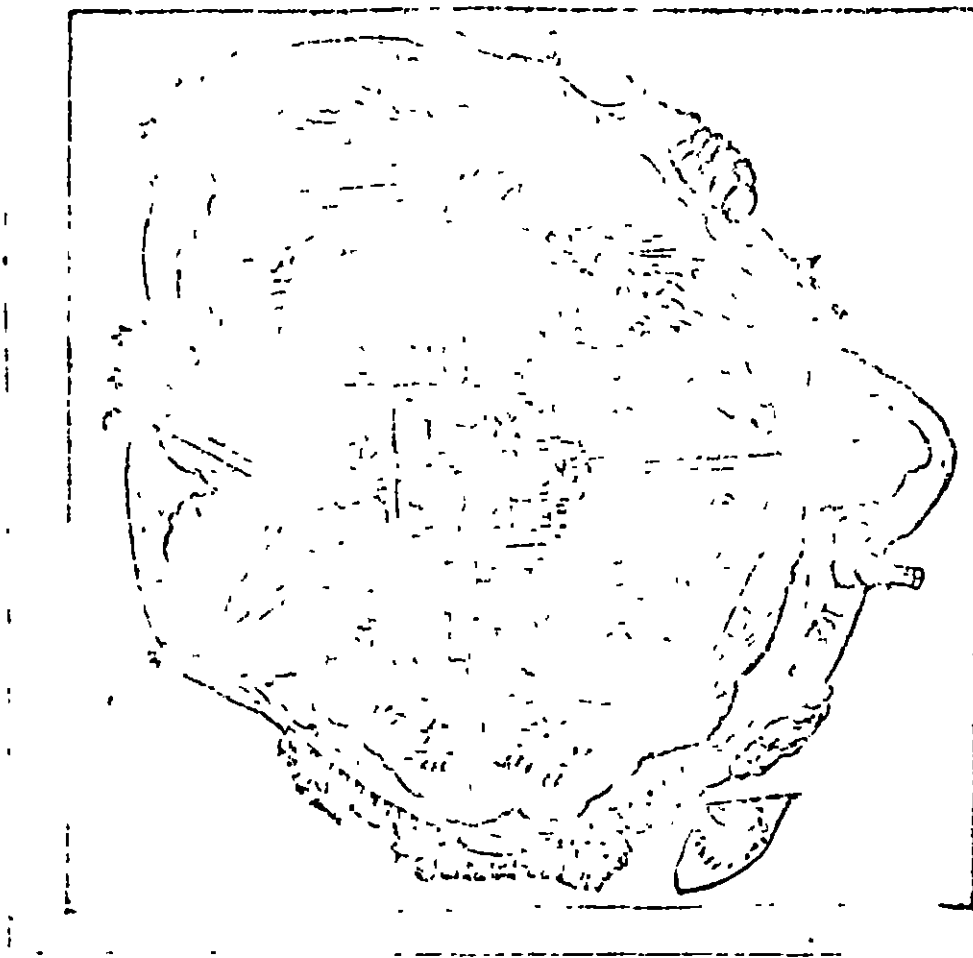
Poblaciones comunicadas por carreteras tangentes y sus ramales.

Carta de Relación, enviada al Rey de España, en 1519, diciendo: "... Esta gran ciudad de Tenochtitlan está fundada en esta laguna salada y desde la tierra firme hasta el cuerpo de dicha ciudad, por cualquiera parte que quisieran entrar a ella, hay dos leguas. Tiene cuatro entradas, todas de calzada hecha a mano, tan ancha como dos lanzas jinetas. Es tan grande la ciudad como Sevilla y Córdoba. Son las calles de ella, digo las principales, muy anchas y muy derechas..."

Según el historiador don Manuel Toussaint, "... los artífices indígenas que trazaron la ciudad de Tenochtitlan se revelan no sólo como perfectos urbanistas, sino dotados de gran sentido del arte. El núcleo del trazo estaba constituido por el recinto amurallado del gran Teocalli. A manera de ejes, cuatro importantes calzadas desembocaban en el centro. Es decir, que desde lejos, cualquiera que fuese el camino que se siguiera, se veía la enorme mole del gran templo..."

Sobre los despojos que quedaron de esa urba lacustre, que Cortés mandó arrasar con la ayuda de 50,000 indígenas, se encomendó al "alarife" Alfonso García Bravo el trazo de la nueva ciudad. Sobre el trazo original de los urbanistas aztecas fue relativamente fácil al urbanista recién importado aplicar el trazo en damero, o de cuadrícula, respetando el núcleo central como Plaza Mayor y las principales calzadas y acequias como base del sistema vial.

En el siglo XVII el viajero Juan E. Gamelli Carreri dejaría constancia del trazo de la ciudad al anotar que: "... la ciudad está fundada en un casi perfecto plano.. Su figura es cuadrada, y parece un tablero, a causa de que sus calles son rectas, y asimismo largas, bien empedradas, y están -



Plano antiguo de la Gran Tenochtitlan.

puesta hacia los cuatro puntos cardinales... No tiene muros ni puertas.

Se entra a ella por cinco calzadas o caminos terraplenados, y son los de

• La Piedad, San Antonio, Guadalupe, San Cosme y Chapultepec..."

### 3.- Invasión del vehículo de motor.

Aparte del factor del trazo vial urbano, para completar el panorama, debemos analizarlo en función de otro factor, igualmente importante y, sin el cual, no habría el problema que a continuación se menciona.

El profesor Richard Weirnerman, de la Universidad de Yale, recientemente calificó al automóvil como el "enemigo número uno de la salud pública" en los Estados Unidos. El automóvil, aunque nació a final del siglo pasado, pertenece al siglo presente, ya que es después de la primera Guerra Mundial en que empieza a influir en nuestra vida social y económica. Desgraciadamente, aún reconociendo que es un maravilloso "navío terrestre" que ha venido a facilitar enormemente nuestra movilidad, nos ha invadido - en tal número que ya causa serios problemas en las grandes ciudades del mundo.

El grupo de trabajo que confeccionó en Inglaterra el estudio titulado "El Tránsito en las Ciudades", también llamado el Reporte Buchanan, trata de establecer un pronóstico en el crecimiento de vehículos en ese país. Tomando en cuenta todos los posibles factores y la experiencia de los Estados Unidos, predicen una relación de saturación de 1.85 personas por vehículo de motor. Según ese estudio se alcanzará el índice de saturación, en ese país, para el año 2000.

En la sociedad altamente industrializada que encontramos en los Estados Unidos, la relación actual es de aproximadamente 2 personas por vehícu



lo, aunque hay entidades como California, donde el índice es ya inferior a esa cifra.

Para tener el panorama completo es conveniente ver el desarrollo que ha tenido el número de vehículos de motor, como sigue: En el mundo no existían vehículos de motor, en el sentido comercial, antes de 1885. Para 1940 circulaban 45,422 000 vehículos. En 1960 el número había aumentado a 121,541 000 y en 1972 pasó de 200 millones. En México se ha registrado el siguiente crecimiento en el registro de vehículos de motor:

1930	87,858
1940	145,708
1950	302,798
1960	802,630
1970	1,910,816
1974	2,634,642

El resultado de la incorporación del vehículo de motor a nuestra vida diaria tiene dos aspectos: uno, el que a todos atrae por lo que brinda de comodidad, movilidad, velocidad y...personalidad. El otro, podría resumirse en la información que proporcionó recientemente la Organización Mundial de la Salud, que el 3 de abril de 1972 vaticinó que "... los accidentes de vialidad llegarán a matar muy pronto unas 250,000 personas por año. .. y provocarán diez millones de heridos..."

El problema se ha tornado de orden vital y merece toda nuestra atención, aunque no estemos de acuerdo con Weinerman, ya que debemos aceptar que el mayor enemigo del hombre es el hombre mismo. Es el hombre que



Muchas calles del mundo han visto su capacidad saturada.

## VEHICULOS DE MOTOR EN CIRCULACION EN EL AÑO DE 1973 1/

## Resumen° General

Entidad	Total	Automóviles			Camiones de pasajeros				Camiones de carga				Motocicletas				
		Suma	Ofi- cia- les	De al- qui- ler	Par- ticu- lares	Suma	Ofi- cia- les	De al- qui- ler	Par- ticu- lares	Suma	Ofi- cia- les	De al- qui- ler	Par- ticu- lares	Suma	Ofi- cia- les	De al- qui- ler	Par- ticu- lares
<b>ESTADOS UNIDOS MEXICANOS</b>	<b>2 634 642</b>	<b>1 766 504</b>	<b>14 895</b>	<b>73 563</b>	<b>1 678 046</b>	<b>37 043</b>	<b>172</b>	<b>27 349</b>	<b>9 522</b>	<b>645 323</b>	<b>15 315</b>	<b>26 547</b>	<b>603 461</b>	<b>185 772</b>	<b>350</b>	<b>158</b>	<b>185 264</b>
Aguascalientes . . . . .	24 915	13 962	373	311	13 278	266	7	230	23	8 125	29	326	7 770	2 562	19	—	2 513
Baja California . . . . .	145 672	101 018	669	1 236	99 113	1 012	—	822	190	42 125	431	1 194	40 500	1 517	—	—	1 517
Baja California, T. . . . .	19 775	9 995	171	324	9 500	30	—	16	14	9 290	160	630	8 500	460	5	—	155
Campeche . . . . .	6 344	3 504	53	247	3 204	138	—	107	31	2 600	11	164	2 425	2 102	—	—	2 102
Coahuila 2/ . . . . .	74 231	43 935	255	1 872	41 808	760	2	576	182	23 287	36	1 636	21 615	6 219	27	—	6 222
Colima . . . . .	10 991	5 495	—	272	5 223	130	—	126	4	4 212	—	306	3 916	1 127	—	—	1 127
Chiapas . . . . .	21 611	11 837	30	861	10 946	484	6	403	75	9 977	27	1 140	8 810	1 313	4	—	1 309
Chihuahua 2/ . . . . .	129 419	74 040	392	2 050	71 598	3 078	11	1 087	1 980	45 856	100	1 951	43 865	6 415	62	—	6 383
Distrito Federal . . . . .	956 903	790 586	10 552	25 615	754 389	10 332	—	6 475	3 857	93 961	12 417	4 051	77 463	62 021	—	—	62 021
Durango . . . . .	26 287	10 990	9	6 917	4 064	476	1	350	125	12 382	4	1 704	10 674	2 419	1	2	2 116
Guanajuato . . . . .	67 553	32 768	58	1 187	31 523	1 219	3	1 080	136	25 551	31	590	24 930	6 015	7	—	6 008
Guerrero . . . . .	27 791	15 386	224	917	14 225	921	16	783	122	7 559	216	483	6 860	3 925	31	—	3 891
Hidalgo . . . . .	31 819	13 668	331	558	12 779	670	9	561	100	16 018	365	117	15 536	1 433	22	8	1 303
Jalisco . . . . .	163 826	107 358	217	4 110	103 031	2 822	7	2 434	381	41 470	179	629	40 662	17 176	2	9	17 165
México . . . . .	103 823	78 418	—	623	77 795	2 450	—	1 479	971	16 585	—	53	16 532	6 370	—	—	6 370
Michoacán . . . . .	57 762	26 615	30	1 079	25 506	859	2	795	62	21 501	18	873	20 610	4 787	10	10	4 767
Morales . . . . .	32 653	19 916	85	652	19 179	638	—	624	34	8 105	42	346	7 717	3 971	3	—	3 971
Nayarit . . . . .	16 916	6 263	56	427	5 770	211	—	197	14	8 032	—	721	7 311	2 410	—	—	2 410
Nuevo León 2/ . . . . .	126 817	89 290	58	10 829	76 463	1 187	—	1 050	137	28 087	41	303	27 713	8 283	14	—	8 269
Oaxaca . . . . .	21 892	9 802	119	687	8 996	434	—	410	24	9 436	93	492	8 551	2 220	5	—	2 215
Puebla . . . . .	66 913	43 607	—	1 757	41 850	1 084	—	914	140	19 422	—	640	18 782	2 830	—	—	2 830
Querétaro . . . . .	20 119	9 985	116	419	9 450	303	4	268	31	7 881	102	279	7 500	1 950	5	30	1 915
Quintana Roo . . . . .	4 875	2 067	40	173	1 854	8	—	6	2	1 639	40	115	1 464	1 161	—	64	1 097
San Luis Potosí . . . . .	31 060	17 600	100	416	17 084	679	2	617	60	12 163	6	391	11 766	3 618	—	—	3 618
Sinaloa . . . . .	62 556	24 154	—	1 127	23 027	1 355	—	1 172	183	30 261	—	1 218	29 013	6 786	—	—	6 786
Sonora 2/ . . . . .	95 138	53 414	609	1 828	51 007	821	29	675	117	36 016	752	2 061	33 240	4 827	66	8	4 753
Tlaxcala . . . . .	13 203	6 890	58	357	6 475	378	10	344	24	4 168	71	682	3 415	1 767	1	—	1 766
Tehuacan 2/ . . . . .	115 255	67 289	45	2 060	65 163	761	3	617	141	41 758	—	597	44 161	2 418	11	—	2 417
Veracruz . . . . .	14 031	7 556	—	672	6 881	594	29	557	8	5 474	18	64	5 392	497	8	—	499
Yucatán . . . . .	91 716	46 511	6	2 671	43 867	1 840	—	1 592	248	35 507	—	1 134	31 371	7 825	3	—	7 822
Zacatecas . . . . .	31 779	18 319	139	839	17 342	640	30	517	93	7 195	31	1 265	5 899	8 625	41	27	8 577
Zaragoza . . . . .	11 904	4 204	100	391	3 713	443	1	435	7	6 590	65	310	6 185	667	—	—	667

1/ Vehículos registrados al 31 de diciembre de 1973

2/ Incluye los vehículos frontizos y los importados al 10%

Sin embargo... muchos de esos accidentes no ocurrirían si el trazo de las ciudades fuese más acorde con las características del vehículo.

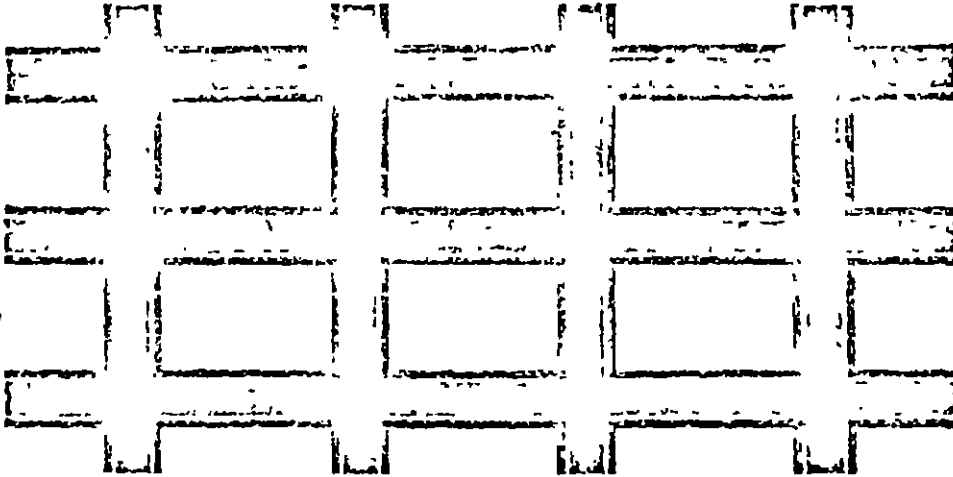
#### 4.- Demanda de movimiento en las ciudades.

Debemos distinguir dos tipos principales de movimiento de un centro de población, los externos y los internos. La magnitud de unos y otros depende principalmente del tamaño de la población y de la distancia que guarda con respecto a otras. Aclaremos. Cuanto más grande sea una ciudad, en mayor proporción dominarán los movimientos internos sobre los externos. En toda ciudad habrá un porcentaje de tránsito que pase a través de la misma sin detenerse. Y debe pasar a través porque el trazo vial heredado exigía el paso de las carreteras por el centro de las poblaciones.

El mismo estudio ya citado de "El Tránsito en las Ciudades" establece un dato interesante, ya comprobado mediante estudios de Origen y Destino en muchas ciudades del mundo. A mayor tamaño de la ciudad un mayor porcentaje de los vehículos que entran a ella, paran en la misma. Se estima que en ciudades de medio millón de habitantes sólo entre el 5% y el 15% de los vehículos que entran no paran. Esa proporción sigue disminuyendo a medida que aumenta el tamaño de la ciudad.

Los movimientos internos de la ciudad se han generado básicamente entre la periferia y el centro comercial, gubernamental y bancario. Al desarrollarse las ciudades han creado otros centros comerciales que se han convertido también en polos de atracción. De esta manera, en una ciudad con un solo centro comercial, la mayor parte de los movimientos diarios son de tipo radial, es decir de la "circunferencia" al centro y viceversa.

VOLUMEN TEORICO ADMISIBLE

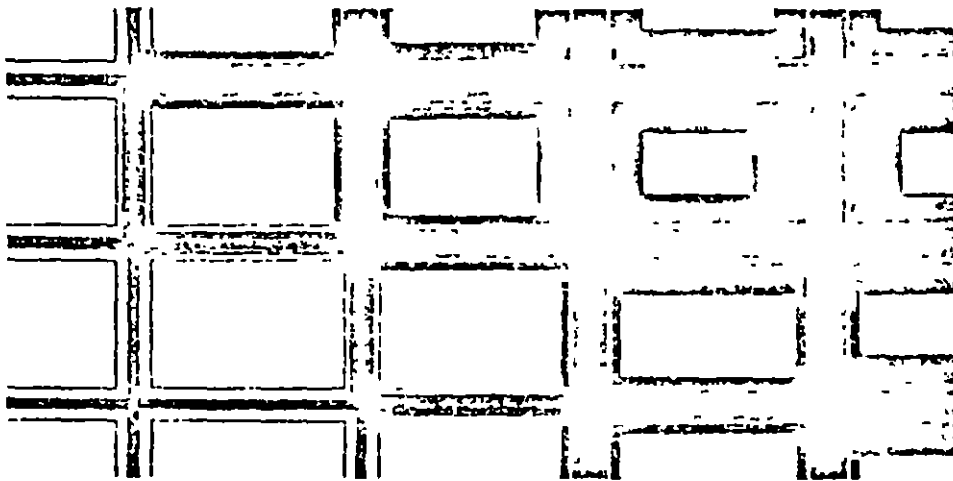


ESC GRAFICA



3000 VEH/DIA

VOLUMEN REAL



Contraste que se establece entre el volumen teórico de vehículos, admisible en una calle y los volúmenes reales que se presentan.

En las ciudades que ya constan de varios "centros de gravedad" los movimientos básicamente parten de, o llegan a los mismos y también se generan entre un centro y otro.

Los estudios de Origen y Destino que se han realizado en las principales ciudades del mundo, nos lo comprueban. Su representación gráfica nos hace ver líneas de demanda de movimientos que se concentran en ciertas zonas de la ciudad. Estas líneas serían los derroteros naturales que seguirían las personas, de no existir el trazo urbano actual.

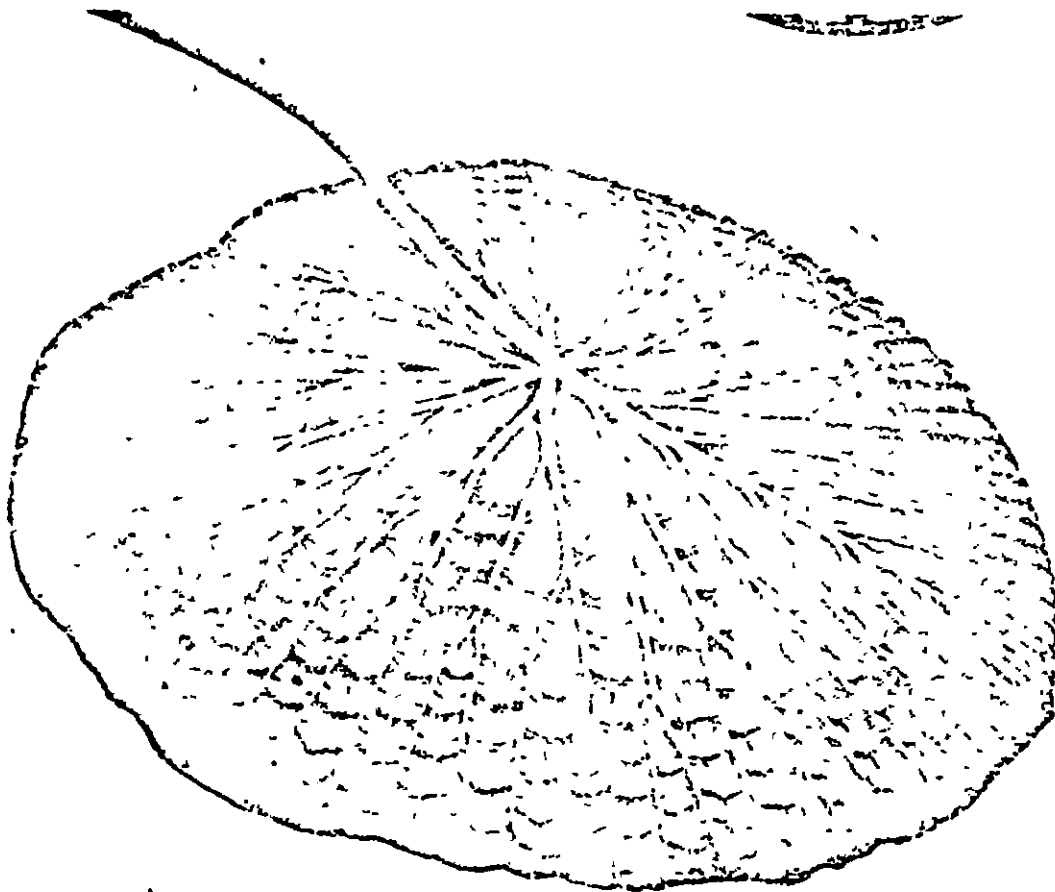
#### 5.- Tendencia naturalista.

Debe reconocerse que el desarrollo de estas tendencias de movimiento simplemente responde a lo que la naturaleza sabiamente nos muestra, lo mismo en las plantas, que en los ríos y que en los sistemas circulatorio y nervioso del hombre. Hay una tendencia naturalista a establecer la afluencia de la savia vital hacia un sistema central, llámese tronco o corazón. No en balde muchos han llamado al centro urbano, el "corazón" de la ciudad.

Si examinamos la hoja de una planta vemos que está llena de conductos o "venas" que llevan la savia a la pequeña rama, después a la rama más gruesa y finalmente al tronco. A medida que esos conductos se acercan al tronco llevan más caudal y por lo tanto adquieren una capacidad mayor.

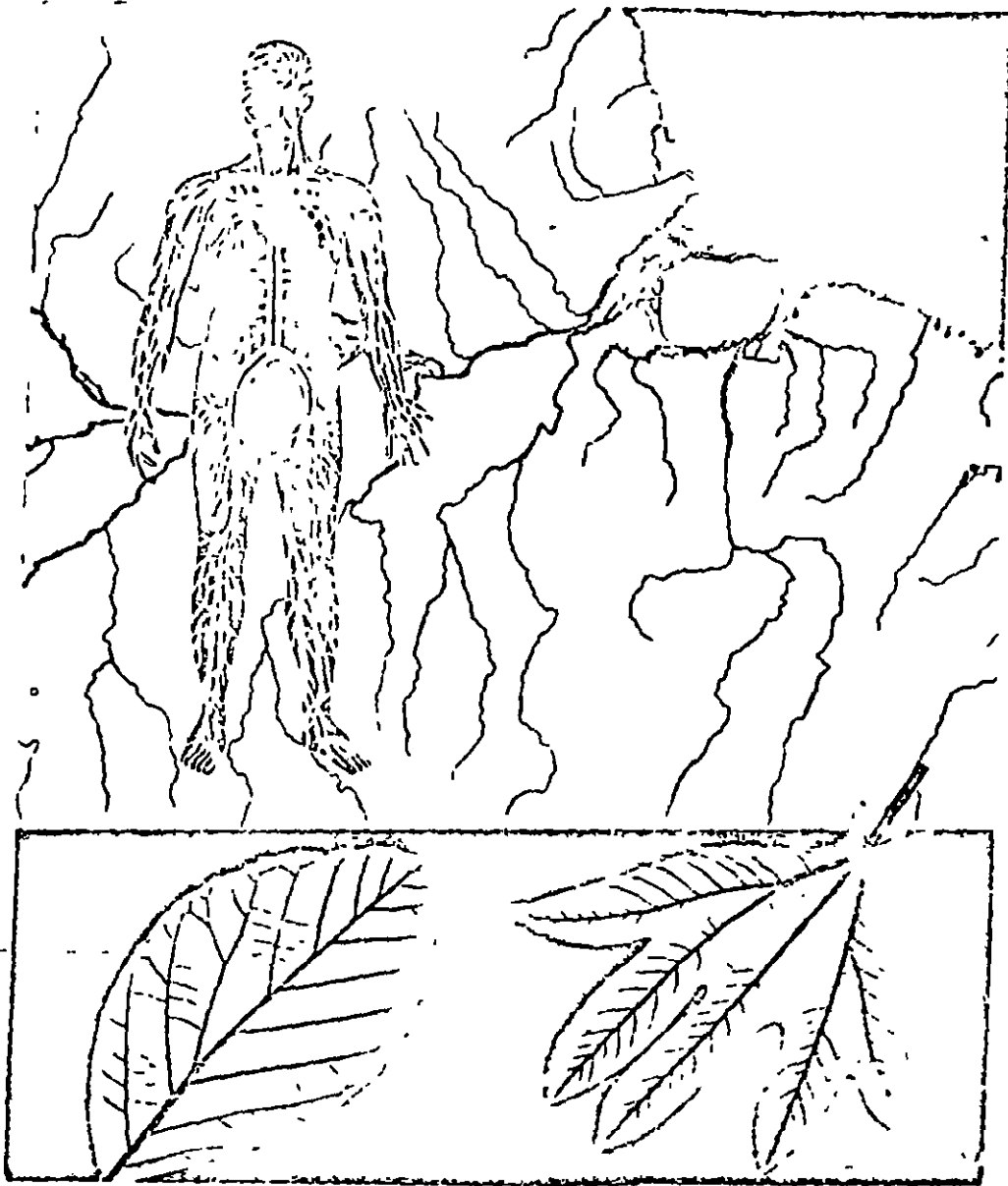
Al examinar el sistema circulatorio del hombre vemos que las venas y arterias que conducen la sangre hacia el corazón y de éste a los órganos y miembros, varían en diámetro conforme se acercan al corazón. A mayor volumen, mayor capacidad.

Lo mismo sucede con un pequeño arroyuelo que, al recibir la precipitación pluvial, se convierte en un arroyo. Luego, la concurrencia de varios



---

El lirio acuático nos da un ejemplo de un sistema circulatorio radial y de comunicación anular.



La naturaleza nos marca diferentes diseños tales como los correspondientes al sistema circulatorio del hombre, el de los ríos, y el de las plantas.



arroyos tributarios forman un río, el cual, a medida que recibe más aportaciones, se torna más caudaloso.

Un caso muy semejante sucede en los movimientos de personas y efectos en una ciudad. Los volúmenes de vehículos y de personas crecen a medida que nos acercamos al centro de la ciudad o a un centro de secundario. Una simple revisión del mapa de volúmenes de tránsito de una ciudad nos comprueba que el caudal aumenta cuanto menor sea la distancia al centro. La ciudad solo ha repetido un patrón de la naturaleza y cuanto menos tardemos en reconocerlo mayor comprensión tendremos del problema.

#### 6.- Desarrollo del trazo en otras ciudades.

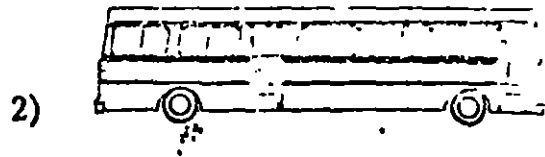
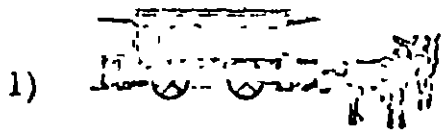
¿Cómo han hecho frente al problema de la invasión del vehículo de motor las principales ciudades del mundo?

En la primera mitad del siglo XX se ha llegado a reconocer que el advenimiento del vehículo de motor, además de ser un gran invento del hombre y un factor de desarrollo económico y social, también constituye un grave problema. La mayor parte de los técnicos en tránsito y transportes han convenido en que el enfoque más adecuado a la atención del problema consiste en un equilibrado programa de desarrollo de los transportes masivos combinado con un ambicioso plan de obras viales, incluyendo las necesarias autopistas urbanas, que trate de superar las limitaciones del viejo trazo de las ciudades.

Las grandes avenidas concebidas en los siglos XVIII y XIX y que podemos ejemplificar dentro de las obras realizadas en París y Washington, no tuvieron el propósito básico de resolver un problema de accidentes y congestiones. Eran obras de ornato y de señorío, aunque quizás también

## CONTRASTES

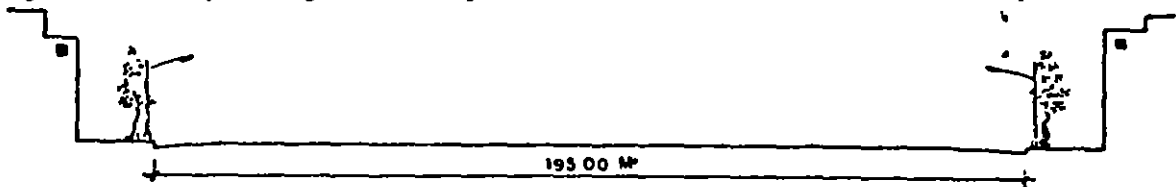
A). - ¿cómo progresado?



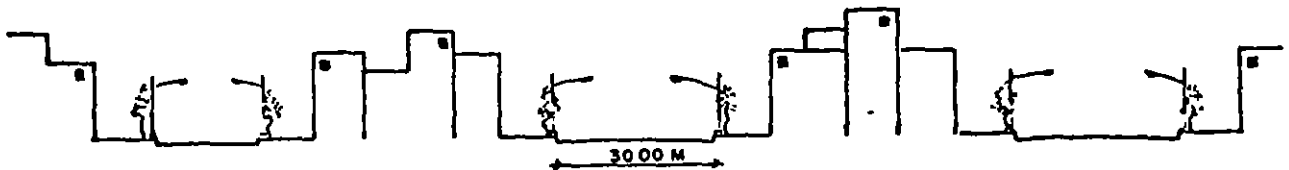
- 1). - Tranvía Mod. 1900, de 2 caballos y 10 km/h.  
2). - Autobús Mod. 1968, de 150 caballos y 8 km/h.

B). - Espacio para el transporte de 50,000 personas por hora, en ambas direcciones:

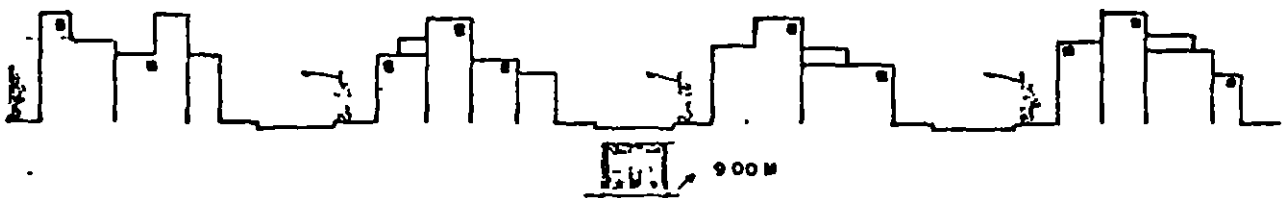
- 1) Automóvil: 195 m de anchura, para 60 carriles, con 500 autos por hora por carril y 1.7 personas por auto.



- 2) Autobús: 90 m de anchura, para 24 carriles, con intervalos de 2 minutos y 70 pasajeros por autobús.



- 3) Metro: un túnel con 9 m de anchura para 2 vías, con intervalos de 3.0 minutos y 1,250 pasajeros por tren, por cada vía.



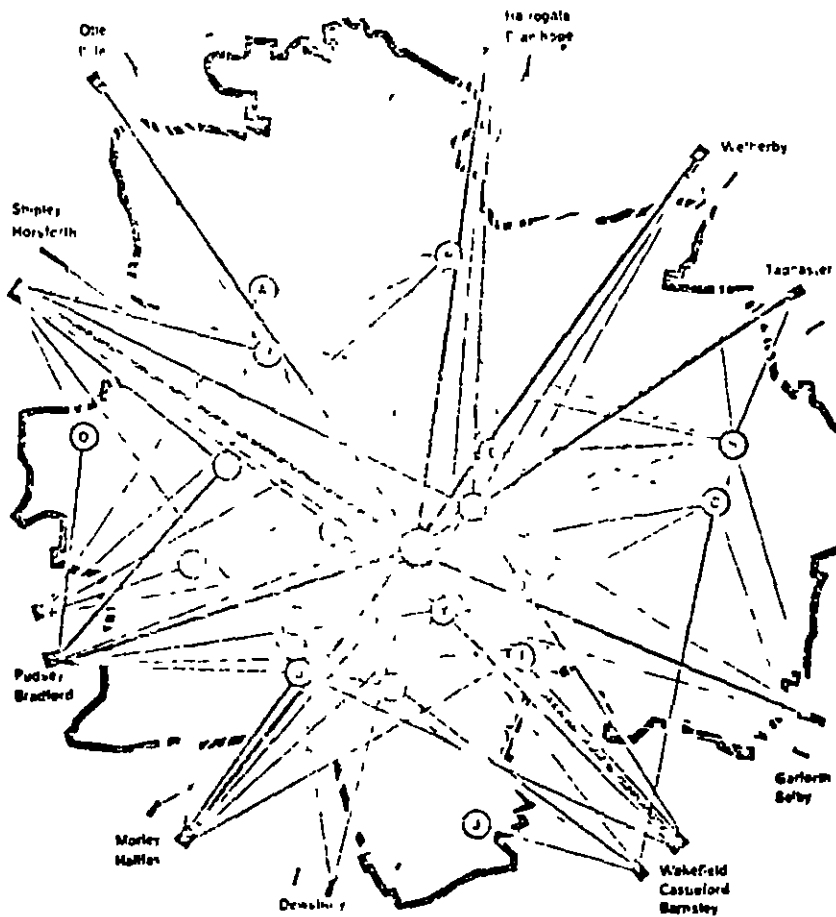
C). - Un autobús moderno puede sustituir a 50 autos con un promedio de 1.5 pasajeros por auto y 75 pasajeros por autobús. Los autos ocupan  $900 \text{ m}^2$  y el autobús  $30 \text{ m}^2$ , parados; o bien, 300 ml los automóviles y 10 ml el autobús.

incluían razones de seguridad. Cuando los urbanistas Haussman y L'Enfant dieron lugar a las avenidas diagonales en las dos respectivas ciudades mencionadas seguían más un impulso de grandeza de sus gobernantes que la necesidad de resolver un problema de tránsito. La misma motivación seguramente originó nuestro Paseo de la Reforma.

Más tarde, la invasión del vehículo de motor y el inusitado crecimiento demográfico de las ciudades habría de inducir a las autoridades a tratar de establecer un equilibrio entre el ordenado crecimiento de la ciudad y el explosivo aumento del tránsito automotor.

Quizás la tendencia más marcada en Europa ha sido la de resistirse al cambio del trazo existente. Aunque las ciudades más importantes han utilizado ampliamente el transporte masivo, incluyendo el tren subterráneo y el tren elevado, la construcción de redes viales de características de movimiento continuo y gran capacidad aún escasean. En el Viejo Mundo son principalmente las ciudades alemanas y francesas las que están creando autopistas urbanas como alivio de la red vial de superficie.

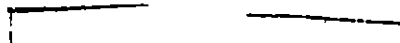
En América pocas ciudades han utilizado el tren subterráneo como solución básica, destacando Nueva York y Chicago. Sin embargo, se ha dedicado amplia atención, sobre todo en Estados Unidos, a un sistema vial más acorde con la era motorizada. En este esfuerzo destacan estados como Nueva York, Illinois y California. Cabe decir que en este último se había menospreciado, hasta hace poco, el aprovechamiento de los sistemas de transporte masivo y se han ejercido cuantiosos presupuestos en las redes de autopistas urbanas. Recientemente han rectificado y ya se construyó la primera -



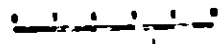
Las líneas de demanda de movimiento, deducidas de los estudios de origen y destino marcan un diseño radial.

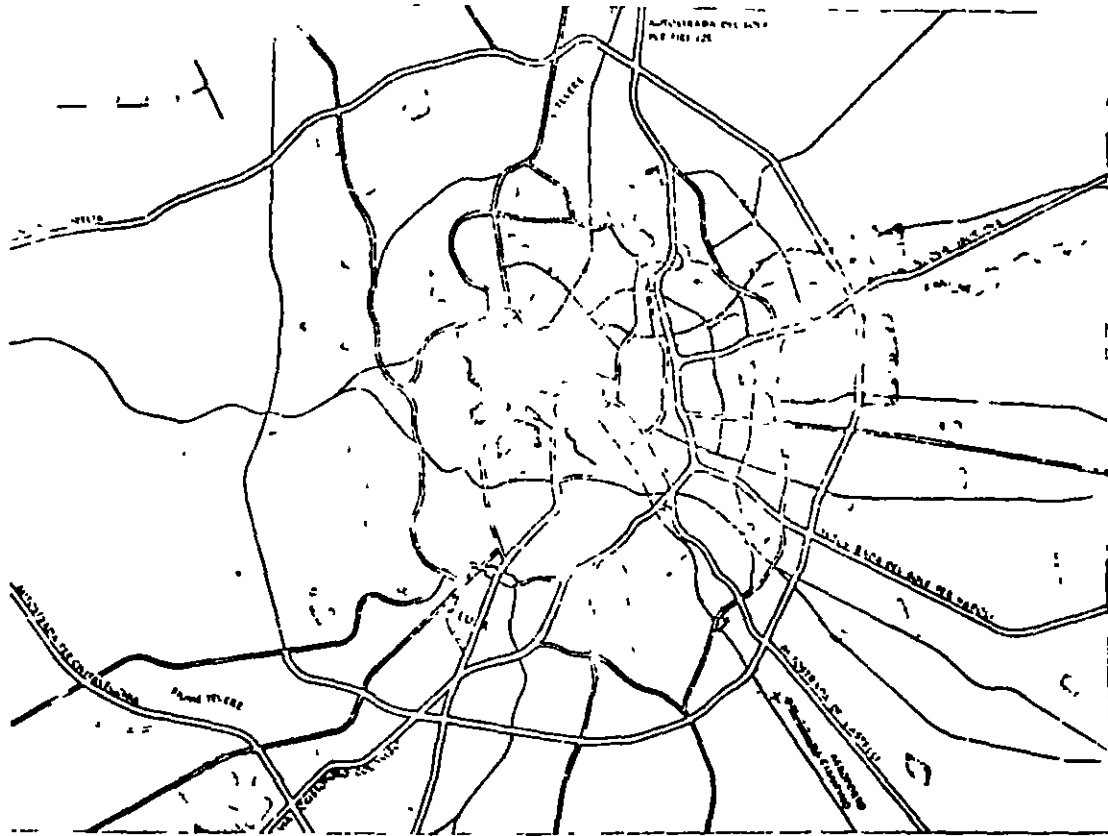


AMSTERDAM



BERLIN



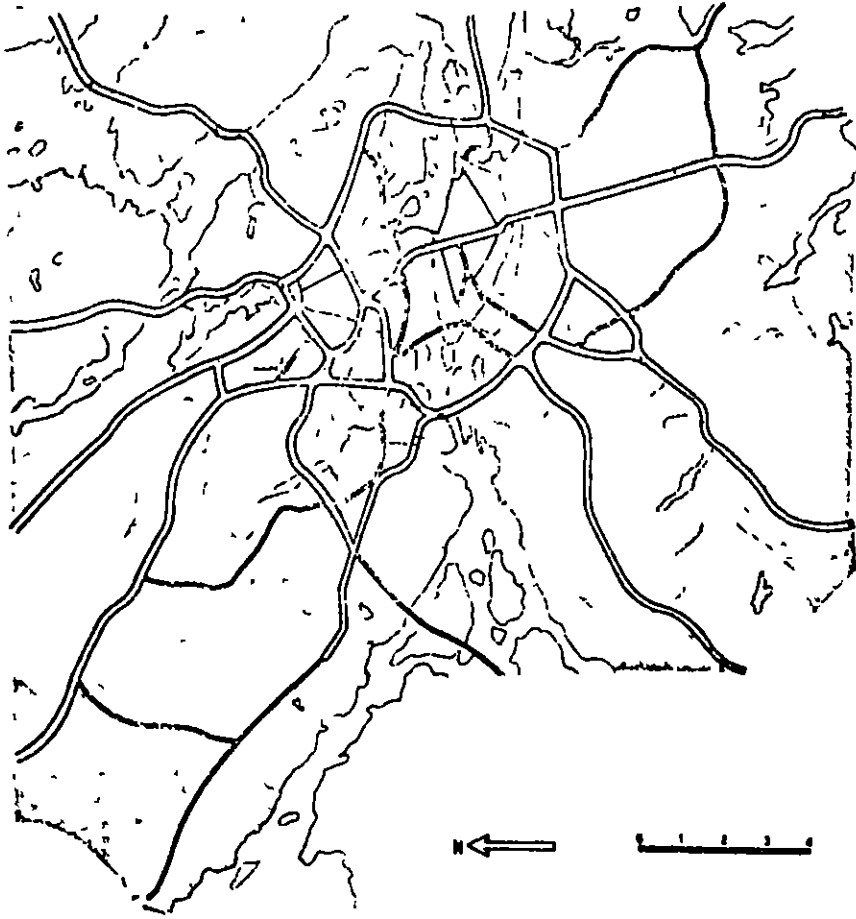


ROMA

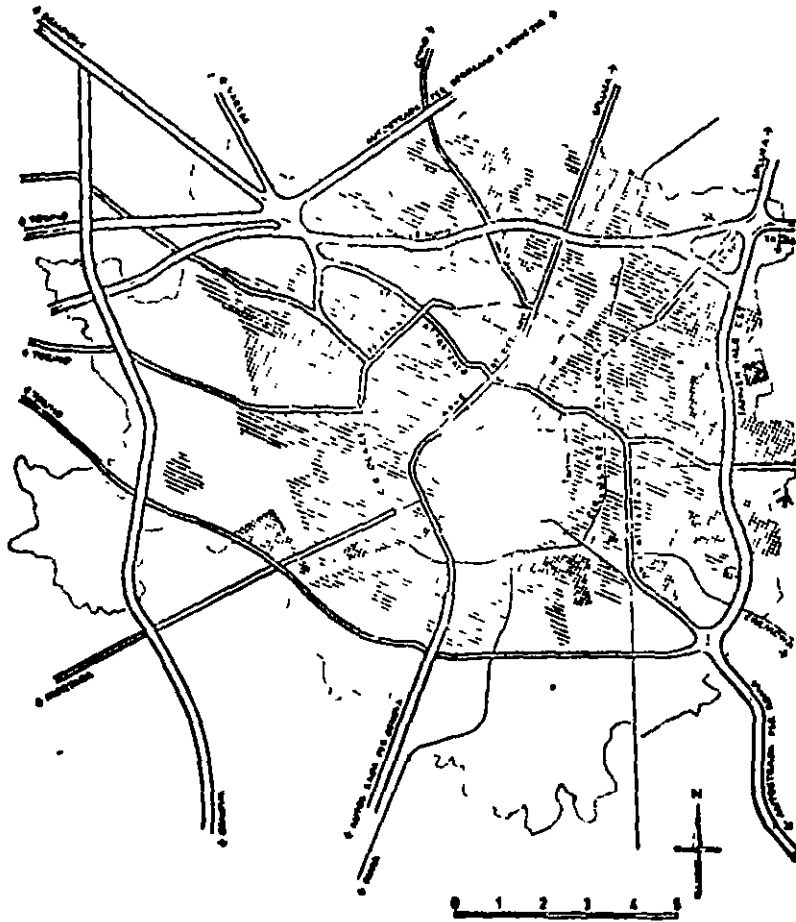


PARIS

2



STOCKHOLM



MILANO

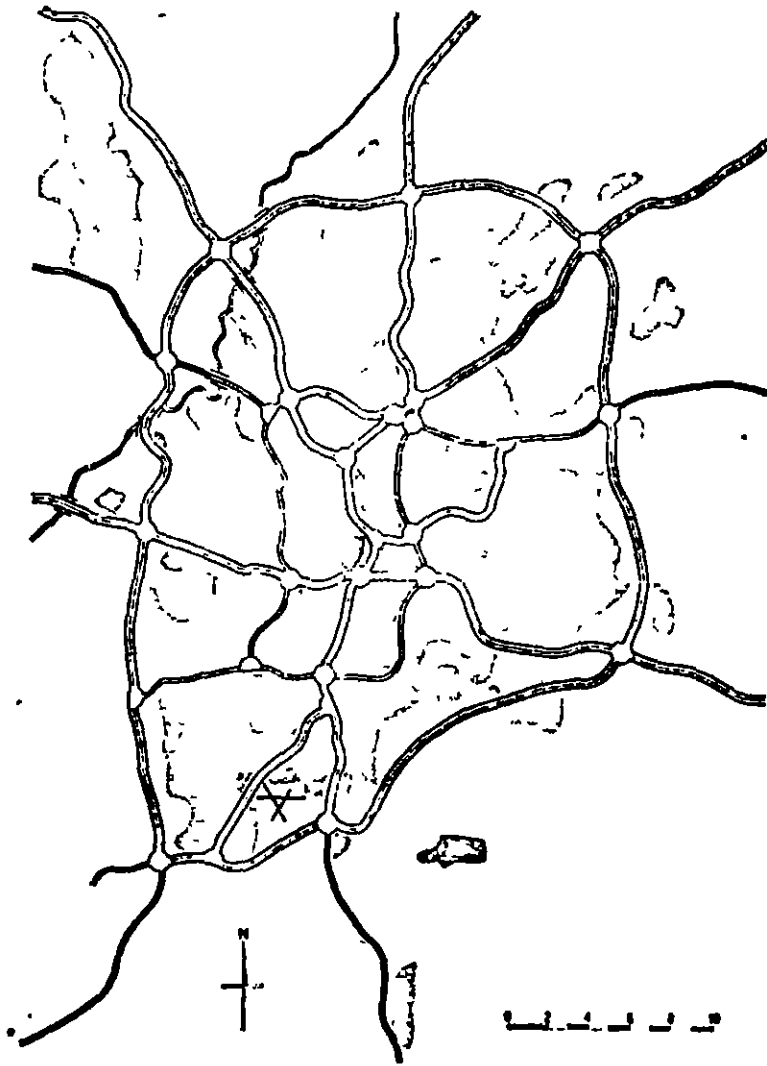




0 1 2 3 4 5



**BRUXELLES**



ATLANTA

parte del Metro de San Francisco.

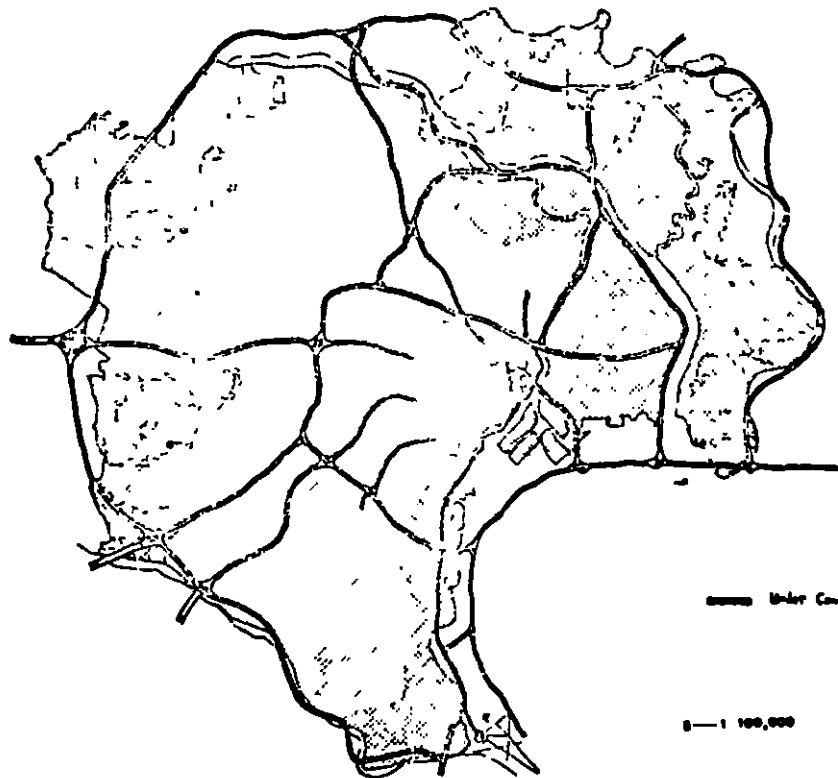
En Asia, el Japón, es un ejemplo de la superposición auténtica de una vialidad moderna, de era motorizada, sobre un trazo vial urbano de varios siglos de edad. En Tokio, por ejemplo, de 100 kilómetros de autopistas urbanas que había en 1972, 95 kilómetros eran autopistas elevadas, que pasan por encima, y aún a través, de los edificios.

En muchas ciudades importantes se transparenta, en el resultado de muchos años y de muchos esfuerzos, un clásico patrón de arterias radiales y de anillos concéntricos, que tratan de comunicar centroides y de aliviar la arterioesclerosis que padecen los centros urbanos del viejo y del nuevo mundo. Basta examinar los planos reguladores y las obras realizadas lo mismo en París, Berlín, Chicago, Washington ó en Tokio. Los urbanistas, íntimamente unidos a los ingenieros de tránsito, han construído o proyectan trazos a manera de "telarañas de la era motorizada", de mayor capacidad, de movimiento continuo y de mejores características de seguridad, y un aspecto muy importante, se empieza a pensar y proyectar ya en tercera dimensión; no solo con autopistas elevadas, sino también con centros comerciales subterráneos.

#### 7.- Planes para el Distrito Federal.

Es del dominio público que las autoridades del Departamento del Distrito Federal prosiguen la tarea, dentro de los planes de largo alcance, para dotar a la ciudad de un sistema arterial constituído por vías radiales y anillos concéntricos.

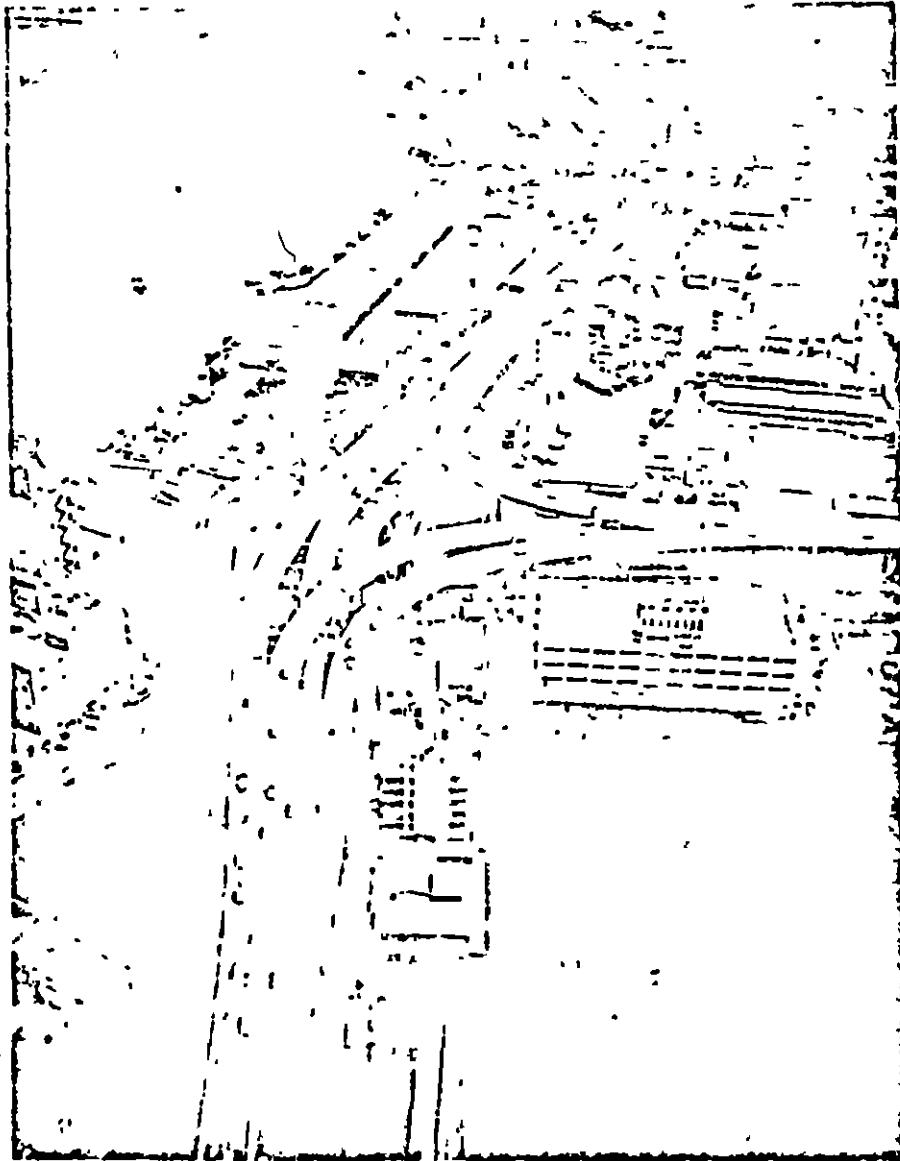
Aunque han pasado ya 10 años desde que se inauguró el primer tramo del Anillo Periférico, aún no se tiene la mitad del mismo, pero reconocien



----- Under Construction

0—1 100,000

TOKYO



En algunas ciudades, como en el caso de Tokyo, la red vial se ha desarrollado en dos direcciones, horizontal y verticalmente,

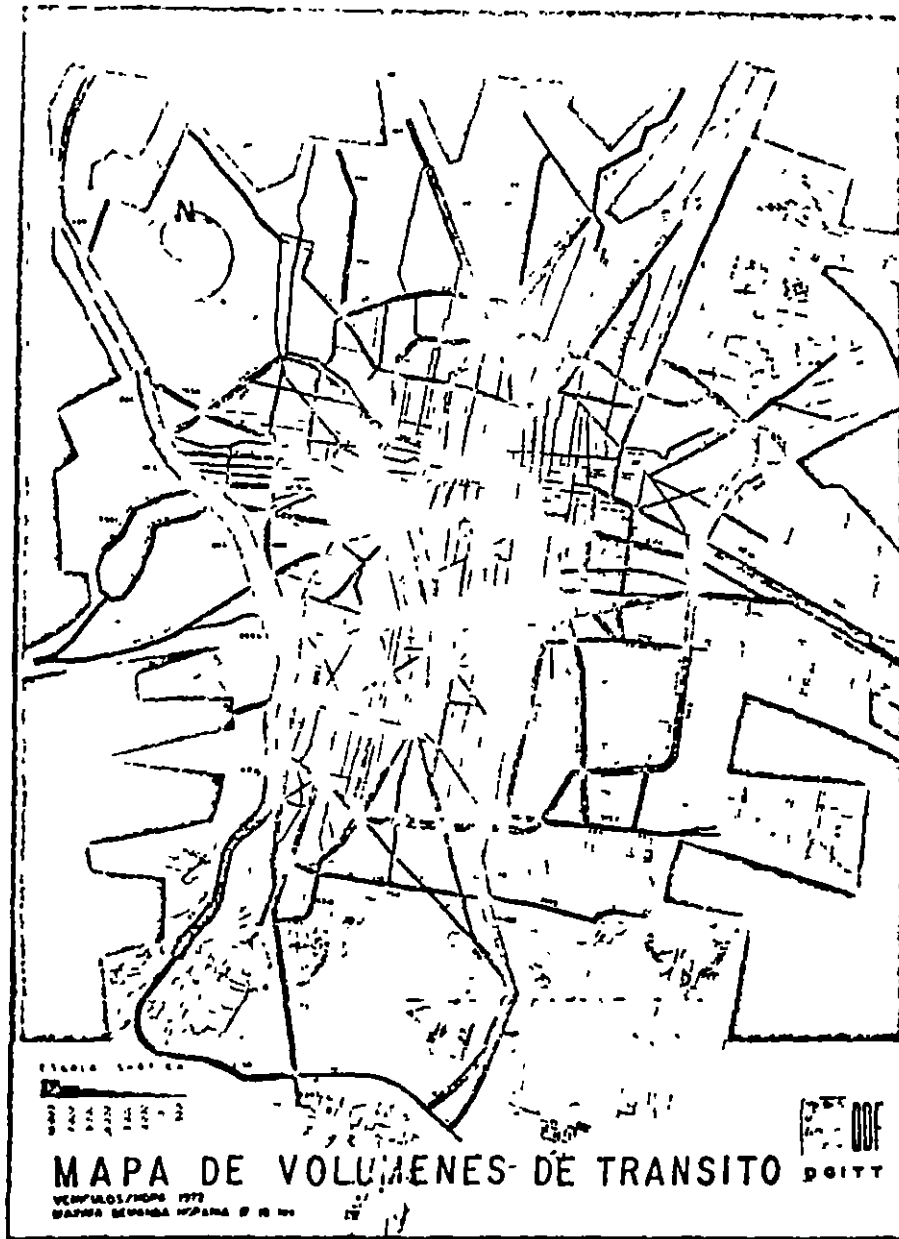
do la necesidad de aliviar el congestionamiento del núcleo central, se aprobó la construcción del Anillo Interior, con prioridad sobre aquél.

El Distrito Federal abrió al tránsito el primer tramo de una Autopista Urbana, parte del Viaducto Miguel Alemán, allá por 1954. En 1962 se inauguró el primer tramo del Anillo Periférico. Actualmente los tramos construidos del Anillo Periférico y la Calzada de Tlalpan, así como el Viaducto Miguel Alemán, con longitud conjunta de cerca de 50 kilómetros, han probado dos cosas: ser capaces de alojar el mayor volumen de vehículos y permitir menores demoras, mayores velocidades globales, que cualquier otra arteria de la ciudad. También, arrojar menor número de accidentes, por kilómetro de arteria, que las principales avenidas, aún sin tomar en cuenta los volúmenes de tránsito.

A pesar de que los atractivos que ofrecen estas autopistas han originado que a diario se congestionen, es injusta la apreciación que expresa una parte de los usuarios diciendo que no han servido ya que se saturaron a los pocos años de inauguradas. Realmente, deberían razonar y preguntarse: ¿que sucedería actualmente si no hubiesen sido construidas?

Pero también lo anterior ha sido considerado al tomar la decisión de construir otra autopista, de trazo anular, más cerca del centro y con un lado, el poniente, muy cercano al tramo más congestionado del Anillo Periférico.

Los estudios recientes de volúmenes de tránsito y de accidentes, y otros de Origen y Destino hechos para el Metro, permitieron establecer un proyecto de ejecución inmediata, para drenar parte del caudal del Periférico por dos vías radiales, hacia el Anillo Interior. Así nacieron las radia



Los estudios de volúmenes de tránsito en el D. F., han permitido una orientación adecuada para el proyecto del sistema vial.

de Río San Joaquín y de Parque Vía, ya en construcción. Su objetivo es el de ligar la autopista México-Querétaro con el Anillo citado, en forma directa. Una vez en éste, los usuarios tendrán una forma expedita de rodear el centro de gravedad más importante de la capital y penetrar a él por la calle que le signifique menor problema y sin tener que atravesar, innecesariamente, zonas congestionadas.

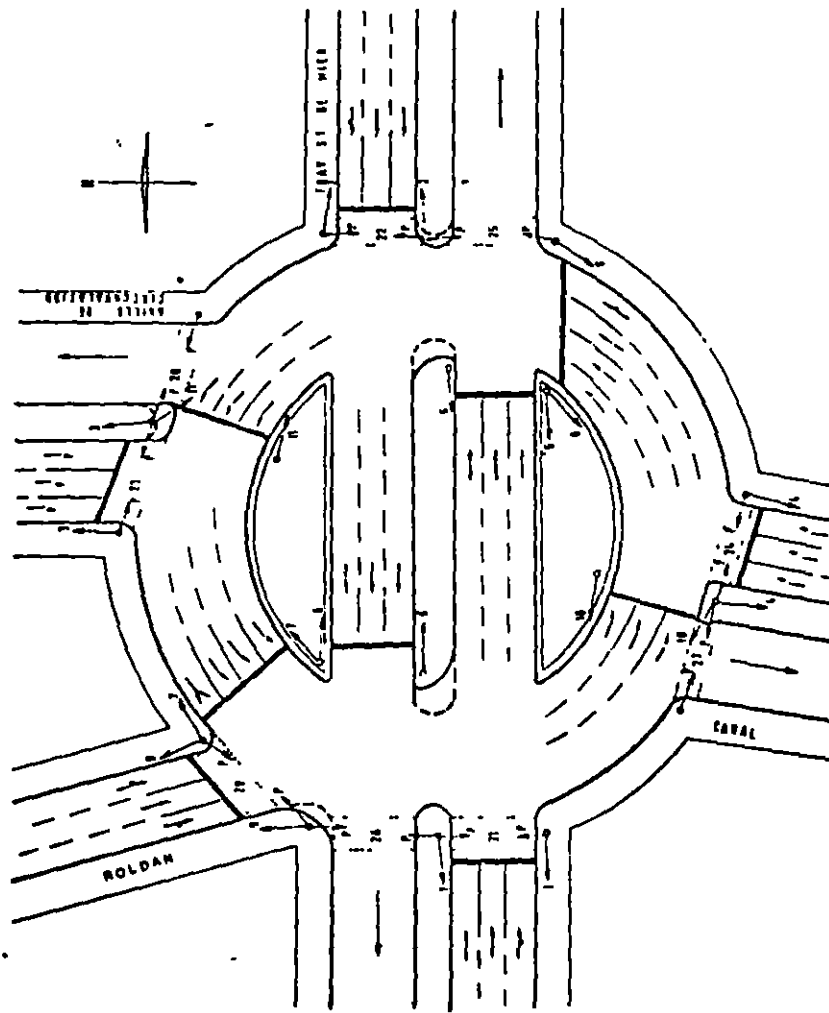
Simultáneamente a estas obras viales se realizan otras de diversa magnitud, desde el recién inaugurado paso a desnivel en Tlalpan y Tasqueña, hasta una serie de reformas mediante la supresión de glorietas y la introducción de isletas de canalización y control de semáforos.

#### 8.- Factores que agravan el problema.

El problema del trazo vial urbano tiene su principal problema en la resistencia al cambio. Debe aclararse que en esta resistencia hay factores legítimos muy respetables, como los de la conservación de reliquias históricas y obras de arte; los valores estéticos urbanos; los espacios verdes, -- etc. Otro factor de orden primario es la limitación de los presupuestos. - Cualquier remodelación urbana importante está fuera de los alcances de un ejercicio fiscal y, necesariamente, requiere de obras diferidas a largo plazo. Existe también la resistencia de los propietarios de predios que resultan afectados por los proyectos. Solo en sociedades muy preparadas, con plena conciencia de la utilidad pública, se encuentra franca cooperación cívica, y no debe dejar de mencionarse la dificultad técnica de resolver, en concordancia con las obras viales, los problemas de ductos de agua, drenaje, teléfonos, energía eléctrica, semáforos, televisión, gas, combustibles, etc. : una verdadera madeia que dificulta la ejecución de cualquier obra.







El destino de las glorietas es cortarlas y controlar el tránsito mediante semáforos.

Hay otro factor, más bien de orden psicológico y político. La actitud mental de las autoridades de muchas ciudades y la de sus técnicos. Desgraciadamente la mayor parte de las veces esa actitud está limitada u orientada por la escasez de medios económicos, o bien de falta de información y análisis adecuados al problema.

Buena parte de las obras realizadas responden al alcance de un exiguuo presupuesto; pero otras veces éste es mal empleado debido a graves limitaciones tecnológicas. Estos escollos muchas veces conducen a gastos mal aprovechados ó a intentos de solución en los que resulta "peor el remedio que la enfermedad".

A modo de ejemplo pueden citarse algunos factores que en muchas ciudades del mundo impiden una mejor solución al problema vial. Sin la intención de que sea una relación limitativa, podrían citarse los siguientes factores:

- a) Falta de un diseño vial urbano de la era motorizada.
- b) Falta de un Plano Regulador, ágil y dinámico, que año con año sufra los ajustes idóneos.
- c) Desconocimiento de los elementos que debe aportar la Ingeniería de Tránsito como método para conocer a fondo los elementos del problema vial, analizarlos y evaluar las alternativas de solución.
- d) Exceso de "dibujismo" en los proyectos de obras viales, fraccionamientos, unidades habitacionales, centros de reunión, etc., exentos totalmente de investigación.
- e) Falta de previsión en estacionamientos de toda clase de edificios.

f) "Glorietismo" nacido de un papel y un compás, y totalmente exento de estudio y análisis, no solo del aspecto de vialidad, sino aún de los motivos estéticos.

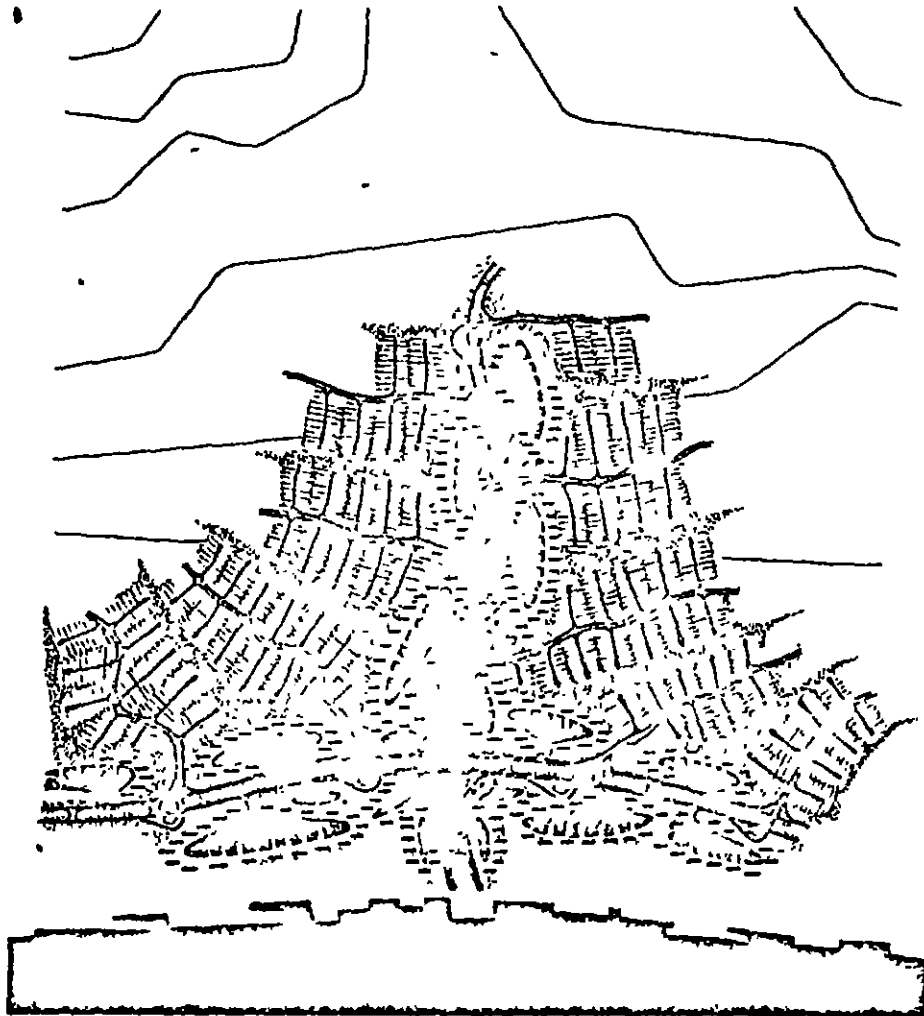
g) Falta de cursos académicos en Ingeniería de Tránsito, tanto como especialidad, como en los programas de estudio de los urbanistas.

## 9. - Conclusiones.

El asombroso aumento de los vehículos de motor en el mundo, con su trágico saldo en accidentes de tránsito, muertos, heridos y gran pérdida económica; el congestionamiento de tránsito que empieza a paralizar numerosas arterias de las grandes capitales y, naturalmente, la explosión demográfica, deben impulsarnos a meditar. El problema requiere un tratamiento que haga uso de la técnica más depurada, y aprovechando los mejores resultados de la experiencia mundial en investigación y aplicaciones prácticas.

Lo anterior debe convencernos que no puede haber urbanismo sin ingeniería de tránsito, y que esta nueva ciencia se hace indispensable para conocer mejor el problema, analizar sus consecuencias, evaluar las alternativas de solución y proyectar las mejores obras e instalaciones para mejorar la vialidad urbana.

Mientras exista la improvisación, el dibujismo, el monumentismo, las obras sin estudio, etc., los restringidos presupuestos se estarán desperdiciando lastimosamente.



Un posible trazo vial del futuro.

Pero eso no sucederá entre los hombres que aman sus ciudades, que tienen espíritu de servicio, que están decididos a hacer el esfuerzo, mediante el estudio, la investigación y el trabajo fecundo, para encarar resueltamente los escollos actuales, que un día serán vencidos.

México, D. F., Marzo de 1975.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



## PLANIFICACION VIAL URBANA



Ing. Rafael Cal y Mayor





**INTERSECCIONES ROTATORIAS**

**Ejemplar original con láminas y fotos**

**México, D. F., a 14 de mayo de 1975**

## INTERSECCIONES ROTATORIAS

- 1.- Definición y nomenclatura
- 2.- Origen y Antecedentes
- 3.- Ventajas y desventajas
- 4.- Tipos de intersecciones rotatorias
- 5.- Elementos que intervienen
- 6.- Arquitectura del Paisaje y Monumentos
- 7.- Análisis de Operación
- 8.- Canalización y control
- 9.- Conclusiones

## INTERSECCIONES ROTATORIAS

Ing. Rafael Cal y Mayor

### 1.- DEFINICION Y NOMENCLATURA.

Podemos definir como intersecciones rotatorias aquellas que operan con circulación continua, en un sentido, alrededor de una isla central. En diferentes países reciben nombres distintos, tales como:

Traffic circle	- Estados Unidos
Round-about	- Inglaterra
Redoma	- Venezuela
Rond Point	- Argentina
Place y Rond Point	- Francia
Glorieta	- México y Colombia

Por falta de consistencia y justificación para los nombres anteriores, los ingenieros han aceptado como nombre más apropiado el de "Intersecciones rotatorias", mismo que ya se ha ido generalizando en la literatura técnica.

Para conocer mejor este tipo de intersecciones es conveniente conocer las diferentes partes que las componen. A la parte central, generalmente con tratamiento de jardín, se le llama "isla central". A las pequeñas partes que se encuentran en la unión de la intersección con las calles que convergen, y que generalmente son de forma triangular, se les llama "isletas deflectoras". Algunas de estas pueden no ser propia-

mente isletas, sino formar parte de una faja separadora central de una calle convergente. A la distancia más corta entre dos isletas deflectoras se les llama "distancia de entrecruzamiento". La parte de arroyo de circulación alrededor de la isla central se denomina "calzada de la intersección". A las calles que convergen en la intersección se les llama "ramas". Una arteria que cruza una intersección rotatoria representará dos ramas. Cada calle convergente tiene una "entrada" y una "salida" de la intersección, a menos que sea de un solo sentido de circulación.

Generalmente la circulación de las intersecciones rotatorias se efectúa en el sentido a las manecillas del reloj, excepto en la Gran Bretaña y los países que tienen influencia de aquél.

## 2.- ORIGEN Y ANTECEDENTES.

Las intersecciones rotatorias fueron creadas por los urbanistas que trazaron calles diagonales a través de una traza urbana ortodoxa, como lo puede ser la de cuadrícula rectangular. Una breve cronología podría ubicar en el tiempo las intersecciones rotatorias como sigue: El tercer plan urbanístico que trazó J. Evelyn en 1784 para la parte de Londres destruida por el incendio de 1666 ya contemplaba calles diagonales e intersecciones rotatorias. El plan que Jefferson y Washington le aprobaron a su urbanista Charles P. L'Enfant, en 1791 dio lugar a la traza actual del centro de Washington. Más tarde, en 1853 Napoleón III auspició al Barón Georges E. Haussmann el trazo de los grandes boulevares que originaron las actuales plazas e intersecciones de París. Estos trabajos urbanísticos dieron

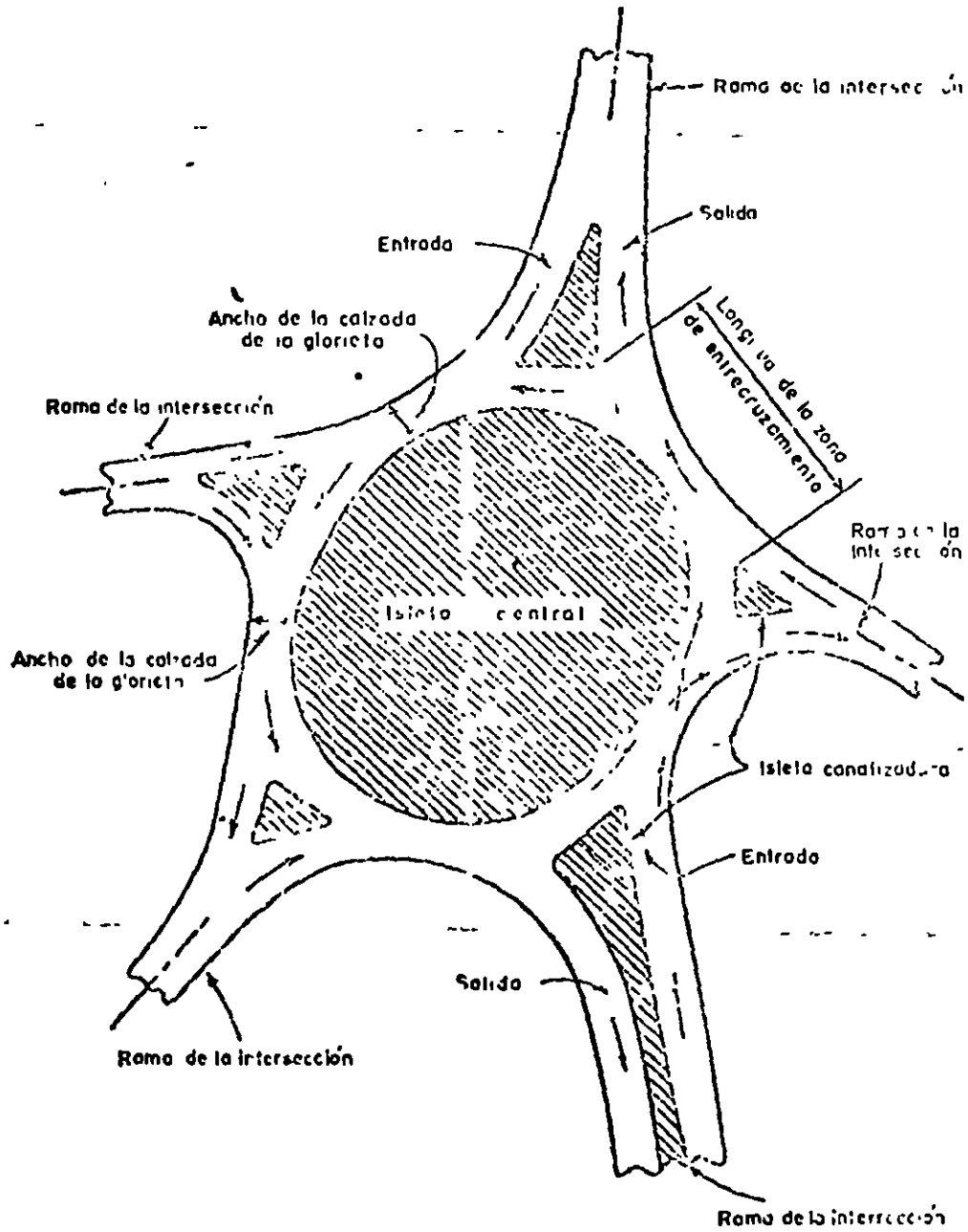


FIGURA 11/9 TERMINOS EMPLEADOS EN EL PROYECTO DE GLORIETAS

lugar a intersecciones rotatorias que se tornaron famosas, tales como "Columbus Circle" y "Dupont Circle", en Washington, y "Place de L'Etoile", "Place de la Bastille", "Rond Point des Champs Elysees", en París.

También en México, el Paseo de la Reforma, Insurgentes, Diagonal San Antonio, División del Norte y otras arterias dieron lugar a intersecciones como la Glorieta de Colón, la Glorieta de Cuauhtémoc, la Glorieta de la Diana, la Glorieta de Francisco Villa, la Glorieta Mariscal Sucre, la Glorieta de Etiopía, la Glorieta de Chilpancingo, etc.

El caso de las intersecciones rotatorias también se repite en muchos países del mundo, incluyendo los de América Latina, donde son populares. La mayor parte de ellas, tanto en Europa como en América, fueron concebidas y trazadas antes de la era del automóvil. Originalmente se les concibió como un motivo de ornato y de señorío. Además, no faltó quien les viera posibilidades como emplazamiento de artillería en casos de motines populares. Fundamentalmente las intersecciones rotatorias han alojado monumentos (Arco del Triunfo, estatuas, obeliscos) o arbolado y jardinería para embellecimiento de la ciudad.

Ya en la época del vehículo de motor se han vuelto a construir intersecciones rotatorias, en algunos casos con la idea de evitar maniobras de cruce directo y, en otros, para emplazar algún monumento. Sin embargo, es conveniente citar lo que dice al respecto la publicación "Práctica Vial en los Estados Unidos de América" (1) al referirse a las intersecciones rotatorias. A través de ese libro la máxima autoridad vial en

---

(1) Highway Practice in the United States of America. - Public Roads Administration, Washington, D. C. - 1949, pág. 103.

ese , así manifestaba, en 1949, lo siguiente: "Debido a las superficies, relativamente grandes que requieren su desarrollo; las distancias adicionales de recorrido en ellas; la necesaria reducción de velocidad para todos los vehículos -- que entran a ella y la limitada capacidad de las zonas de entrecruzamiento, -- ya no se proyectan intersecciones rotatorias, salvo en casos especiales".

Por otra parte parece haber un límite al volumen de tránsito que -- puede manejar una intersección rotatoria, por lo que muchas soluciones de cruces han derivado a intersecciones a desnivel o a canalizaciones con semáforos. La Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Vialidad establece, en su libro sobre normas de proyecto geométrico (1) que ... "Un volumen total de 3,000 veh/hora de entrada en todas las ramas de la intersección parece ser la máxima capacidad práctica de las intersecciones rotatorias bien proyectadas".

### 3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Es muy conveniente precisar cuáles son los aspectos positivos y negativos de las intersecciones rotatorias, ya que así será más fácil comprender la conveniencia o inconveniencia de su aplicación. De acuerdo con la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de la Vialidad (1) se tienen las siguientes:

#### Ventajas

- 1) Permiten un flujo ordenado y continuo, con bajos volúmenes, sin demoras por paradas.
- 2) Con un buen diseño los movimientos de entrecruzamiento reemplazan a los cruces directos comunes en los cruces a nivel, disminuyendo los conflictos. Las entradas y salidas se efectúan con movimientos convergentes y divergentes, en ángulos reducidos.
- 3) La mayoría de los accidentes que ocurren son de menor envergadura, generalmente causando sólo daños materiales.

---

(1) "A Policy on Rotary Intersections". - American Association of State Highway Officials, Washington, D. C. 1947. y "A Policy on Geometric Design of Rural Highways" ASSHO. Washington, D. C. 1965. pág. 478.

- 4) Se permiten todos los movimientos, aunque se requiere de distancias adicionales de recorrido para todos excepto para las vueltas derechas.
- 5) Son especialmente indicadas para intersecciones de cinco o más ramas.
- 6) Cuestan menos que un paso a desnivel con todas sus rampas en la misma superficie. Sin embargo, la capacidad de la intersección rotatoria generalmente será bastante más reducida.

#### Desventajas.

- 1) Una intersección rotatoria no puede alojar más tránsito que una intersección canalizada bien proyectada. En muchos casos las intersecciones rotatorias han sido convertidas a intersecciones canalizadas, resultando en una mejor operación.
- 2) La intersección rotatoria deja de operar satisfactoriamente cuando dos o más ramas, especialmente si tienen cuatro o más carriles, registran volúmenes de tránsito que se acercan a su capacidad, al mismo tiempo.
- 3) Generalmente requieren mayor derecho de vía y longitud de calzada, costando más, que las otras intersecciones a nivel.
- 4) La gran superficie requerida limita su uso en zonas de mucha construcción.
- 5) Como generalmente se requiere de terreno plano, en condiciones de topografía irregular puede resultar poco práctico construirlas.

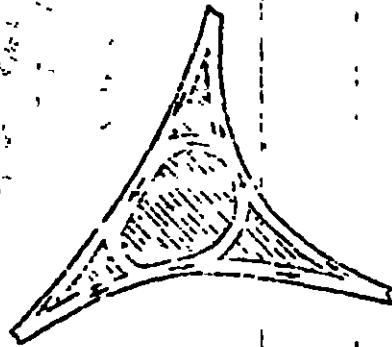


- 6) No son convenientes en ubicaciones con altos volúmenes de tránsito de peatones. Para dar paso a éstos, se requiere violar el requisito de flujo continuo. En algunas de estas intersecciones se presentan muchos atropellamientos.
- 7) Pueden llegar a tener grandes dimensiones cuando conectan arterias de alta velocidad, para poder proporcionar las distancias de entrecruzamiento entre las ramas, o bien donde hay más de 4 ramas. Las intersecciones rotatorias grandes significan mayores distancias de recorrido, que deben ponderarse contra las demoras en intersecciones canalizadas.
- 8) Para una operación óptima se requiere de un señalamiento apropiado, efectivo día y noche. El señalamiento que evite confusiones a los usuarios no habituados es difícil de lograr.
- 9) El costo de la iluminación y la jardinería deberá ponderarse contra lo que de ellas requiera un cruce canalizado.

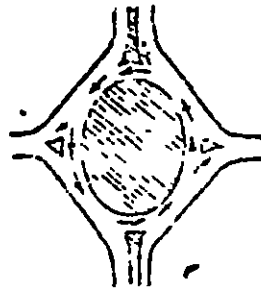
Podría agregarse que, si bien es cierto que resultan agradables cuando se les dota de plantas y flores, dando un toque de belleza a una ciudad, cuando se utilizan para ubicar en ellas monumentos o estatuas no se logran los propósitos de que las admire el público o sirvan como motivo educativo o turístico, ya que es difícil y peligroso para los peatones acercarse y los conductores están demasiado ocupados sorteando los peligros del tránsito para fijarse en ellos.

#### 4.- TIPOS DE INTERSECCIONES ROTATORIAS.

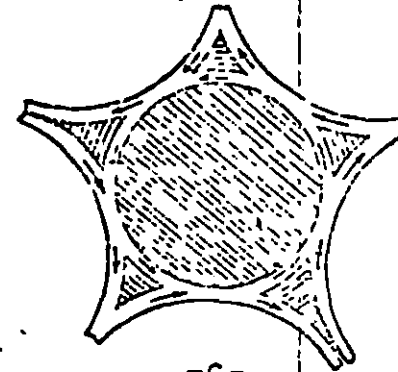
Se pueden encontrar intersecciones rotatorias de tres, cuatro o -



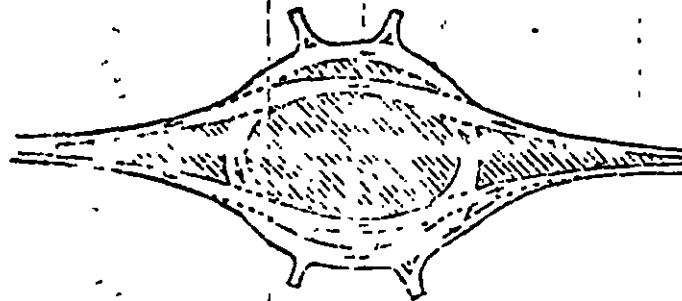
-A-



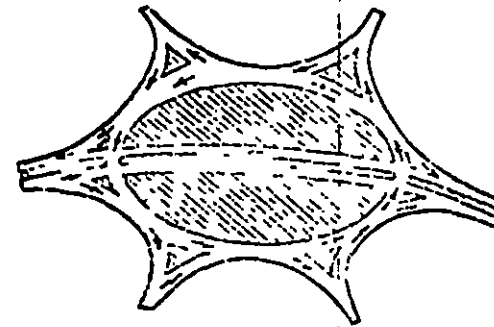
-B-



-C-



-D-



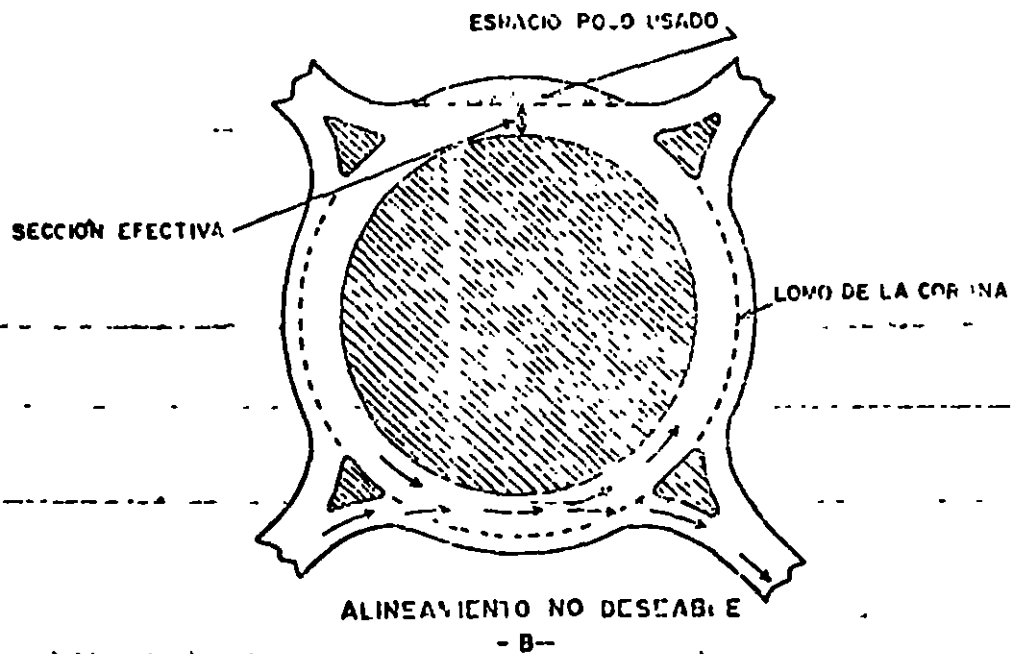
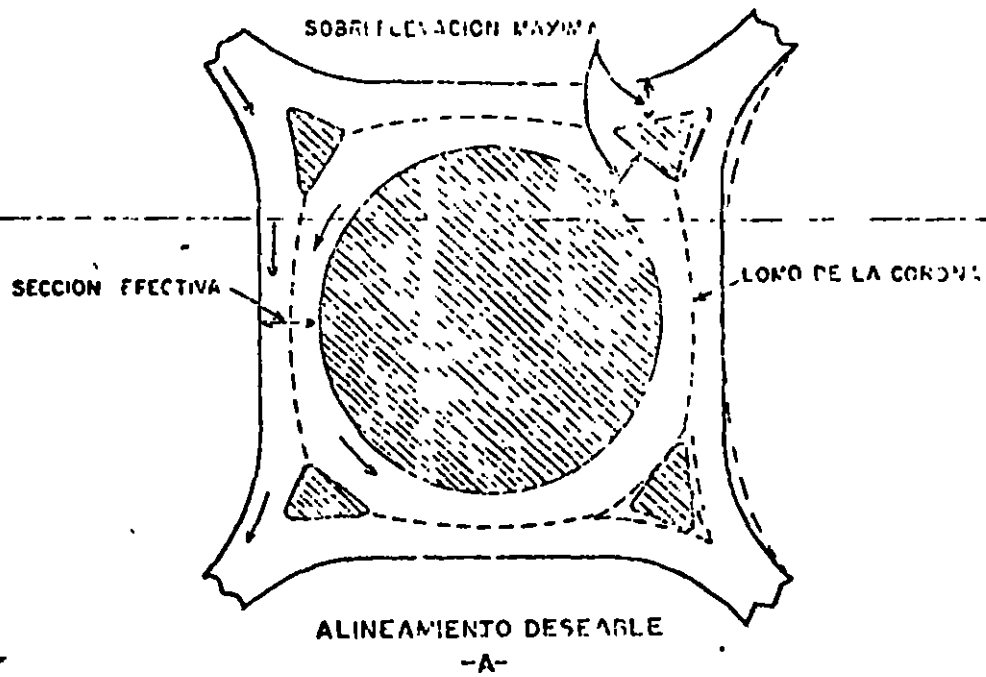
-E-

### TIPOS DE INTERSECCIONES ROTATORIAS

A - De tres ramas  
B - De cuatro ramas

C - De cinco ramas  
D - Convertida a canalizada,  
con vuelta izquierda directa

E - Convertida a canalizada  
con vuelta izquierda



### INTERSECCIONES ROTATORIAS SIMETRICAS

- A - De planta cuadrada
- B - Circular

más ramas, simétricas y asimétricas, circulares o elongadas. Las anteriores condiciones físicas dependen del número y posición de las calles convergentes. Cuando, por necesidades del tránsito, una glorieta ha sido cortada, deja de tener movimiento continuo, como ya se dijo, y debe ser considerada como intersección canalizada.

Existen cruceros que realmente no se pueden considerar como intersecciones rotatorias, cuando la isla central es demasiado pequeña. En esos casos es muy probable que se requiera un control por medio de señales o de semáforos. Desde 1947 en Estados Unidos se consideraba como rotatoria una intersección únicamente en los casos en que el radio de cualquier parte de la isla central tuviera cuando menos 22.5 metros (1).

Las glorietas circulares, trazadas en proyecto mediante círculos concéntricos, no responden a las necesidades del tránsito y solo representan el "dibujismo" que, infortunadamente, no resuelve el problema de estas intersecciones.

## 5.- ELEMENTOS QUE INTERVIENEN.

Entre los elementos más importantes que se deben considerar en el proyecto de intersecciones rotatorias, están los siguientes:

### Velocidad.

Los vehículos deben poder circular a una velocidad uniforme para poder mezclarse con los otros y salir sin mayores problemas. Debe seleccionarse de antemano una velocidad de proyecto, la que debe guardar -

---

(1) " A Policy on Rotary Intersections". American Association of State Highway Officials.- Washington, D. C. 1947.

relación con las velocidades de las calles convergentes. No debe exigirse una reducción de velocidad demasiado fuerte al entrar a la intersección, ya que aumentarían los riesgos y se afecta la eficiencia de la operación.

La experiencia original en la operación de este tipo de intersecciones indicó que eran eficientes con velocidades de 25 a 40 km/h. En cambio, en carreteras esas velocidades no eran deseables, sino que se vió que se requieren velocidades que se acerquen a la velocidad promedio en las carreteras convergentes. Para velocidades de proyecto mayores de 65 Km/h, las intersecciones rotatorias requerirán dimensiones muy grandes. Por ejemplo, para 65 km/h se requiere un radio de 130 m. Este radio en la parte interna de la calzada de la intersección significa un diámetro total del orden de los 300 m. El tamaño muchas veces resultará prohibitivo.

Lo anterior explica porqué en las carreteras modernas, con una velocidad de proyecto alta, no se usan intersecciones rotatorias, quedando se éstas para los caminos secundarios.

#### Zona de entrecruzamientos.

Esta zona puede ser de cruces simples, múltiples, de un solo lado, o de los dos, según el proyecto. Generalmente esta zona permite un movimiento cruzado y dos que no lo son. Los cruces se realizan en la parte más angosta de la calzada. La longitud y la anchura de la zona de entrecruzamientos determina la capacidad de la misma. Con base en la información contenida en el Manual de Capacidad (1) hay una relación entre la longitud de esta zona, la velocidad de operación y el volumen de vehículos que se

---

(1) "Highway Capacity Manual" . Highway Research Board. - Washington, D. C. - 1965.

cruzan.

Para poder determinar la relación entre el volumen de vehículos -- que se cruzan y la longitud de la zona de entrecruzamiento, puede recurrirse a una gráfica que se ha determinado en forma empírica (1), y que relaciona los volúmenes que se cruzan con la longitud del tramo requerido de entrecruzamiento, y con diferentes valores de lo que se ha llamado el "Factor de Influencia del Entrecruzamiento". Este factor varía según la "calidad del flujo" y ésta se mide por los factores de volumen de servicio máximo y velocidad de operación. Así, para diferentes rangos de velocidad y de volumen se tiene diversos Factores de Influencia, como sigue:

RELACION ENTRE EL FACTOR DE INFLUENCIA Y EL  
VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO  
(Automóviles equivalentes por hora por carril)

I	2,000 autos/hora/carril
II	1,900 " " "
III	1,800 " " "
IV	1,700 " " "
V	1,600 " " "

RELACION ENTRE EL FACTOR DE INFLUENCIA Y LA  
VELOCIDAD DE OPERACION  
(km/h)

I	80 km/h, o más
II	70 a 80 km/h
III	60 a 70 "
IV	50 a 60 "
V	50 km/h o menos

Ya precisados estos valores puede hacerse uso de la gráfica si se han determinado los volúmenes que se entrecruzan.

---

(1) Op. Cit.



Con la fórmula que se incluye en la gráfica anterior es posible de terminar el número necesario de carriles, en la anchura de la calzada. Para ello la fórmula relaciona los volúmenes que se entrecruzan; los que pasan sin cruzar la trayectoria de otros; el volumen de servicio por carril y el Factor de Influencia. Este último afectará al menor de los dos volúmenes que se entrecruzan.

### La Isla Central.

El proyecto de la isla central es gobernado por la velocidad de proyecto de la intersección rotatoria, el número y la ubicación de las ramas y las longitudes necesarias para el entrecruzamiento. La intersección se proyecta buscando la unión de la entrada de una rama con la salida de la siguiente, mediante la zona de entrecruzamiento más corta posible. Ciertas condiciones físicas locales pueden exigir que se dé alguna forma especial a la isla central.

El mejor procedimiento es plantear las ramas en un plano a escala. A continuación deben trazarse las longitudes necesarias de entrecruzamiento para los volúmenes de la hora de máxima demanda en cada una de ellas. Estas distancias se plantean como rectas. Después, se traza el polígono, dejando la anchura de calzada centrada en las rectas anteriores. En este polígono interior habrá que ajustar las distancias y las curvas que unen las tangentes, con un radio adecuado a la velocidad de proyecto.

### Anchura de la calzada.

La anchura de la calzada debe tener la capacidad necesaria para alojar los volúmenes de tránsito máximos que se esperan. Generalmente la anchura de la calzada variará en las diferentes zonas de entrecruzamiento -



de la intersección. Sin embargo, la anchura mínima del tramo crítico gobernará el diseño. La anchura mínima se ha fijado en dos carriles de 3.60 m cada uno. Generalmente, la anchura mínima debe ser igual, o exceder, a la mitad de la anchura total de la rama más ancha, adicionada de un carril más. Normalmente, la anchura máxima recomendada en zonas rurales es de cuatro carriles.

Para el cálculo de la anchura necesaria, medida en número de carriles, ya se citó la fórmula que relaciona los volúmenes de tránsito, el Factor de Influencia y el Volumen de Servicio. Con respecto a este último valor VS, deben usarse cifras de 800 a 1000 automóviles equivalentes por hora, por carril, para condiciones normales (1).

El alineamiento de la calzada debe permitir los cruzamientos y las vueltas derechas sin curvas inversas forzadas. De no lograrse esto habrá zonas sin uso y la anchura efectiva será menor.

#### Entradas y Salidas.

La operación de la intersección rotatoria depende en mucho del comportamiento de los conductores a la entrada y salida de la misma. La corriente que entra puede realizar su movimiento convergente con eficiencia y seguridad si su velocidad es aproximadamente igual a la de la calzada. Esto se logra reduciendo la velocidad de la corriente de llegada y proyectando los accesos para una velocidad semejante a la de la calzada.

Las salidas deben tener un diseño tan bueno como el de la calzada y, de ser posible, permitir una mejor velocidad de salida, para fomenta

---

(1) A Policy on Geometric Design of Rural Highways.-American Association of State Highway Officials.- Washington, D. C. 1965, pág. 483.

tar el desalojo de la calzada.

### Isletas Deflectoras .

Estas isletas, que dividen las entradas de las salidas en las ramas, afectan directamente la operación de la calzada. Su correcto diseño determinará los ángulos de convergencia de las corrientes de entrada. Las isletas, las salidas y las entradas se proyectan simultáneamente. Las isletas deben tener dimensión suficiente y deben proyectarse adecuadamente a la trayectoria de los vehículos, así como para poder alojar señales, semáforos, postes de iluminación y para servir de refugio al peatón.

### Sobre-elevaciones del pavimento.

En función de los radios y la velocidad de proyecto se deben proyectar las sobre-elevaciones del pavimento en las entradas, las salidas y en la calzada de la intersección rotatoria. Es difícil, en la práctica, lograr las sobre-elevaciones necesarias debido a curvaturas encontradas, que obligan a la construcción de "lomos", donde la sobre-elevación cambia de pendiente. En estos casos es recomendable mantener dentro de ciertos límites la diferencia algebraica de las pendientes transversales, como sigue:

Velocidad de proyecto en la calzada (km/h)	Máxima diferencia algebraica de pendientes
40 - 50	0.06 - 0.07
50 - 65	0.05 - 0.06

Los valores menores son recomendables en donde hay un porcentaje importante de camiones pesados. Cabe advertir que la pendiente transversal en estas intersecciones no debe estar gobernada por las necesidades de drenaje, sino por las normas anteriormente citadas.

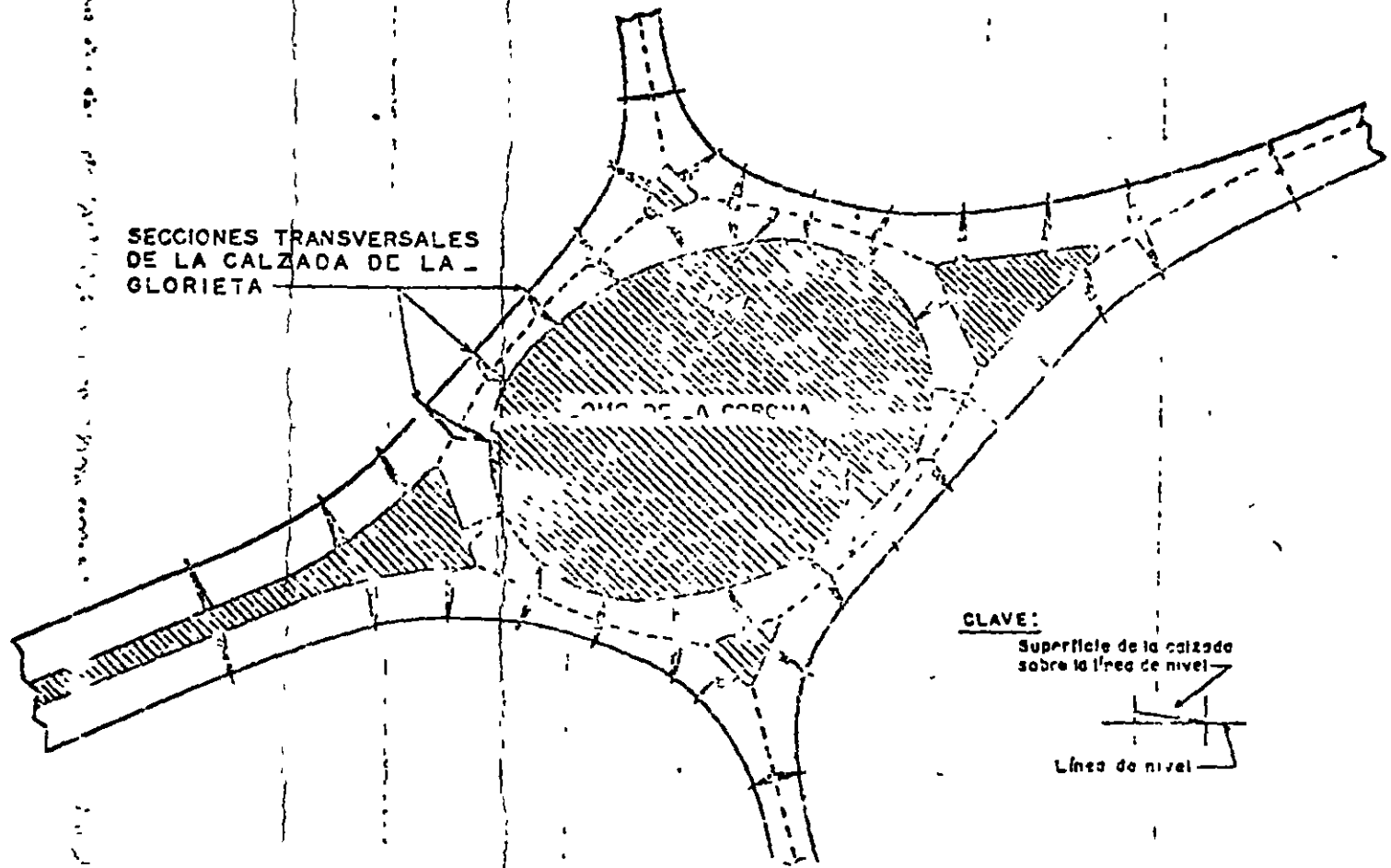


FIGURA 11 21 PENDIENTE TRANSVERSAL DE LA CALZADA

### Distancias de visibilidad y pendientes.

Las distancias de visibilidad en las entradas deben ser suficientes para permitir a los conductores el necesario tiempo de reacción antes de incorporarse en la corriente de tránsito de la calzada. Esta distancia debe ser mayor que la distancia de visibilidad de parada correspondiente a la velocidad de proyecto de la rama, en su entrada.

En todo el desarrollo de la intersección se debe procurar tener poca o nula pendiente, a fin de que esta no obligue a reducciones de velocidad. Las pendientes longitudinales, en caso de existir, no deben ser de más del 3%.

### 6.- ARQUITECTURA DEL PAISAJE Y MONUMENTOS.

Como parte integral del proyecto de la intersección rotatoria se debe incluir la arquitectura del paisaje, especialmente de la isla central. Debe recordarse que la esencia de la operación en estas intersecciones depende de la reducción de la velocidad de arribo, más la selección de la trayectoria adecuada dentro de la calzada. El diseño adecuado del paisaje puede ayudar mucho en estos objetivos. Por ejemplo, el color contrastante y la textura del pasto que cubre una isla o, visto a distancia, o un agrupamiento de árboles que sigue el alineamiento del camino de acceso, robustecen la necesidad de un giro y ayudan a reducir la velocidad.

La plantación de árboles o arbustos que interfieren con la distancia de visibilidad puede ser un error, que debemos evitar. Por consiguiente es de desearse que quede un espacio libre alrededor de la isla central

sin arbustos.

Otra forma de llamar la atención de los conductores hacia la existencia de la isla central es la de elevar el nivel de la isla, en forma gradual, hacia el centro. Esta elevación, lo mismo que los arbustos, ayudan a reducir el deslumbramiento por las luces de los vehículos que llegan en sentido contrario. Sin embargo, debe evitarse la creación de obstáculos peligrosos en línea directa de una calle convergente, tales como barreras de árboles, postes o muros, debiendo quedar éstos al lado izquierdo de la isleta deflector a, con referencia a un vehículo que entra en la intersección.

Por lo que respecta a los monumentos debe aclararse que mucho se ha abusado de las intersecciones rotatorias para ubicar monumentos y no debe considerarse esto una práctica aconsejable. Los monumentos nos recuerdan a una persona o un hecho notable. Para que llenen plenamente su propósito deben estar al alcance del público, especialmente de los escolares, de los turistas y de las personas que no han tenido mucho acceso a la cultura.

Muchos monumentos requieren, además, cierto espacio y acceso fácil y seguro, para ceremonias de recordación. Deben considerarse, no solo como objetos para adornar el paisaje urbano, sino motivo de homenaje y medio didáctico para dar justo reconocimiento a los próceres y a los hechos sobresalientes.

Es fácil darse cuenta de que los monumentos colocados en muchas intersecciones rotatorias, o que alguna vez fueron rotatorias, han quedado en situación desfavorable. Debido a los riesgos del tránsito nadie los visi



placas será el indicado, ya que únicamente se requiere saber la rama de entrada y la rama de salida y no se interfiere con el tránsito. Con este estudio se podrán determinar y dibujar los diagramas de los movimientos direccionales, destacando su trayectoria y su magnitud. Con ayuda de dichos diagramas se determina qué movimientos pasan sin cruzarse con otros y cuáles deben mezclarse en cada zona de entrecruzamiento.

A falta del dato de las velocidades de proyecto de las ramas y de la calzada, se deberán hacer mediciones de la Velocidad de Proyecto. Sería conveniente hacer las mediciones en las entradas de la intersección y al centro de las zonas de entrecruzamiento, calculando los promedios.

El volumen de tránsito en la hora de máxima demanda se considerará como el Volumen de Servicio. Con este dato y el anterior, de Velocidad, se determina el Factor de Influencia, que se citó al hacerse referencia a las distancias de entrecruzamiento. Con dichos valores se entra en la gráfica y se determina qué longitud debe tener la zona de entrecruzamiento para las condiciones encontradas.

En muchos casos se encontrará que la distancia de entrecruzamiento es insuficiente, debido a un aumento no previsto en los volúmenes de tránsito o a falla de proyecto. Otras veces se encontrará que no hubo proyecto alguno y se construyó con base en un mero dibujo.

Usando la fórmula contenida en la misma gráfica puede verificarse si la anchura de la calzada es adecuada. Como Volumen de Servicio puede usarse el de la hora de máxima demanda, excepto en el caso de que se presente congestionamiento, con paralización del flujo, como ocurre en algunos casos de falla.

En ese caso se puede tomar el valor sugerido entre 800 y 1000 - automóviles/hora/carril. Con el resultado obtenido se sabrá si la falla es de capacidad por número insuficiente de carriles.

Por otra parte, se deben investigar los accidentes ocurridos en la intersección en un período de 6 meses o, de preferencia, en un año. En ciertas intersecciones de este tipo es frecuente que se hayan registrado accidentes, como colisiones laterales y alcances, en las entradas. En otras puede ser más frecuentes los atropellamientos, especialmente si la intersección está cerca de centros de trabajo u otras concentraciones humanas. Una alta incidencia de atropellamientos puede indicar la necesidad de establecer control en la intersección mediante la instalación de semáforos. Pero esto podría afectar severamente la operación de la intersección, a menos que, simultáneamente, se lleve a cabo la canalización, transformando la intersección.

#### 8.- CANALIZACION Y CONTROL.

Después de conocer las características de los distintos elementos que deben constituir las intersecciones rotatorias es fácil darse cuenta por qué casi todas las que existen en zonas urbanas han tenido que ser canalizadas y controladas mediante semáforos. En general se han logrado dos cosas: mejores condiciones de seguridad, y una operación más ordenada. En algunos casos las condiciones de capacidad han mejorado.

La canalización de una ex-intersección rotatoria fundamentalmente



exigirá que se dé prioridad al paso de la corriente mayor. Por ello es recomendable el corte de la isla central dando prioridad a su alineamiento. En algunos casos se requiere cortar a través de la isla central en dos direcciones que se cruzan. En casos de altos volúmenes de tránsito se requerirá la construcción de un paso a desnivel.

En general; al canalizar la intersección deben tratar de conservarse todos los movimientos de vuelta izquierda que sea posible. Quizá en algunos casos debe suprimirse algún movimiento. En situaciones extremas se ha recurrido a hacer alguna de las ramas de un solo sentido y de la intersección hacia afuera. Deben considerarse cuidadosamente las ubicaciones de semáforos y señales en el proyecto. Muchas veces las isletas de canalización deben proyectarse de manera que encaucen adecuadamente los movimientos, al mismo tiempo que faciliten la colocación de dichos dispositivos con la mayor visibilidad y el menor riesgo de constituirse en obstáculos.

La programación de semáforos en estas intersecciones, una vez canalizadas, es algo complejo. Lo ideal sería lograrla con dos fases, pero muchas veces se requieren más movimientos, que obligan a programar tres y hasta cuatro fases. Sin embargo, esta última solución no siempre da un buen resultado. En otros casos será conveniente subdividir la intersección en cruceos secundarios, como se ve en los ejemplos adjuntos.

La conversión de intersecciones rotatorias a intersecciones canalizadas ha sucedido lo mismo al Dupont Circle, en Washington, a la Glorieta de Cuauhtémoc, en México, D. F., o al obelisco de la Plaza de la República, en Buenos Aires. Es por ésto que se ha dado el caso, como en la prolonga-

ción del Paseo de la Reforma, en el que las intersecciones con trazo de glorietas nacieron cortadas al través de la isla central y con control de semáforos.

## 9.- CONCLUSIONES.

a) Las intersecciones rotatorias pertenecen más bien a la época anterior al advenimiento del vehículo de motor.

b) Por sus características de operación y los elementos que las componen, las intersecciones rotatorias requieren de amplia investigación y cuidadoso estudio para lograr un proyecto adecuado.

c) Si se cumplen los requisitos del proyecto, las intersecciones rotatorias requieren de grandes superficies, lo que las hace prohibitivas en zonas urbanas.

d) No es recomendable alojar monumentos ni estatuas en las intersecciones rotatorias. Tampoco es conveniente dejarlos allí cuando la intersección es canalizada.

e) Cuando se presentan fallas en la operación de las intersecciones rotatorias pueden analizarse para ver qué elementos fallan y en qué medida. El mismo análisis puede orientar la necesaria solución.

f) Generalmente se obtienen mayor capacidad y mejores condiciones de seguridad en una intersección canalizada que en una intersección rotatoria defectuosa.

g) Es necesario acabar con el "dibujismo" y el "monumentismo", tecnificando los proyectos y evitando que se repitan los errores que hoy en día causan muchos dolores de cabeza a los usuarios, a los funcionarios públicos y a los ingenieros de Tránsito.

PLANEACION DE AUTOPISTAS, ARTERIAS  
PRINCIPALES Y CALLES.

Ing. José Mirabent González Jauregui

Enero 1976.

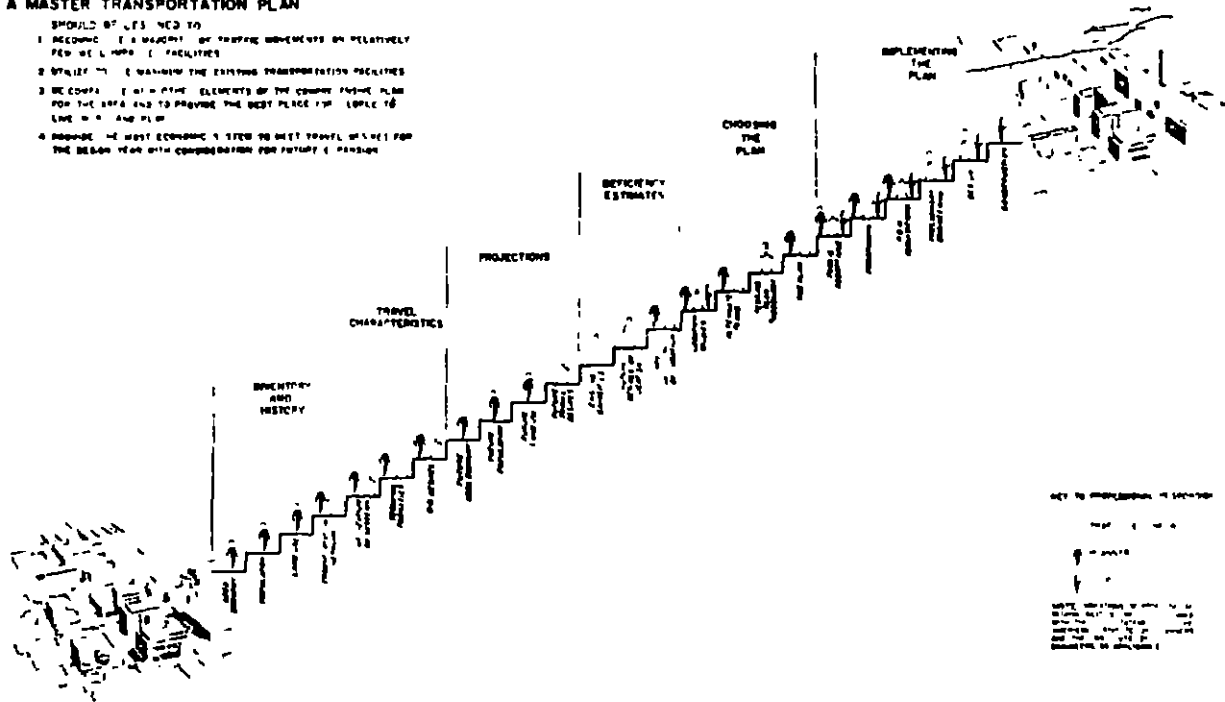
Los temas relativos a la Planeación de autopistas, arterias principales y calles, asignación del tránsito y análisis de capacidad se ubican bajo un gran rubro que se denomina Planeación. Es por ello que primeramente se definirá ésta como el proceso consistente en el análisis documentado, sistemático y tan cuantitativo como sea posible de una acción a tomar, pudiendo ser esta acción una obra nueva o bien la remodelación de alguna existente, dicho proceso se integra por varias etapas que constituyen los mecanismos de la planeación y son.

- 1) El conocimiento de la situación que se pretende cambiar.
- 2) La necesidad y el interés por parte de la colectividad de realizar la modificación y su proyección al futuro, lo que implica determinar claramente los objetivos deseados.
- 3) Partir de proposiciones que sean la expresión concreta del deseo de la colectividad.
- 4) Determinación del impacto de la proposición.
- 5) Programas en forma precisa en tiempo y en espacio, el desarrollo de los actos necesarios.

Ahora bien, el deseo por parte de la colectividad de modificar cierta situación es factor indispensable para establecer el proceso de una exitosa planeación, esto es, por ejemplo: en cualquier gobierno es necesario que para realizar una obra se cuente con el apoyo tanto de gobernantes como de gobernados, lo que se requiere determinar en -

**A MASTER TRANSPORTATION PLAN**

- SHOULD BE LETS NEED TO
1. ACCORDING TO A MAJORITY OF TRAFFIC ENGINEERS ON RELATIVELY FEW OF THE LARGER FACILITIES
  2. UTILIZE THE EXISTING TRANSPORTATION FACILITIES
  3. BE COMPATIBLE WITH THE ELEMENTS OF THE COUNTY FUTURE PLAN FOR THE AREA AND TO PROVIDE THE BEST PLACE FOR LOCAL TO STATE AND PLAN
  4. PROVIDE THE MOST ECONOMIC SYSTEM TO MEET TRAVEL DEMANDS FOR THE DESIGN YEAR WITH CONSIDERATION FOR FUTURE EXPANSION



**Figure 181—Transportation Planning Steps**  
 (Source: Wm. S. Pollard, Jr., "Transportation Planning," *Public Works Magazine*, September, 1962)

forma científica, para lo cual habrá que valerse de las herramientas necesarias como son estadísticas, probabilidad, economía y muchas otras ciencias auxiliares comprendidas dentro de la Ingeniería Civil. Para llegar a las metas fijadas, determinar los logros a obtener y conocer los medios para alcanzarlos, se fijarán dos grandes etapas, la primera consiste en la elaboración del plan Maestro y la segunda del Programa a seguir.

En este capítulo se les hablará sobre el plan y posteriormente el Sr. Ing. Miguel Nava Uriza les platicará sobre el "Programa"

A continuación se explicarán los pasos necesarios a seguir para la elaboración de un plan maestro de calles o carreteras.

a) Propósito del estudio y objetivos para lo cual se necesita determinar lo existente y las carencias actuales, para que con esta base se proceda a dar las facilidades necesarias, esto se logra mediante un estudio de la zona donde será localizado el proyecto, y su inter-relación con otras zonas, esto implica conocer el área de influencia del proyecto a desarrollar.

b) Descripción de todos y cada uno de los elementos que van a intervenir en el proyecto, como son:

- |                     |  |
|---------------------|--|
| 1) Infraestructura  | Calles, carreteras, corredores industriales ó comerciales, agua potable, drenaje, etc. |
| 2) Socio-Económicos | Escuelas, centros de trabajo, zonas habitacionales, tamaño de la comunidad, etc.       |

Procurando lograr una máxima utilización de la capacidad potencial de las instalaciones existentes o proyectadas.

- c) Fijación de quienes serán los que intervengan en el estudio adec  
tamente, para lo cual se les marcarán responsabilidades, asimism  
mo se llevará un exhaustivo control con las personas o dependenci  
as que vayan a participar en forma externa, esto es que funcion  
en como banco de datos o bien como fuente de información.
- d) Obtención de alternativas, y determinación de la óptima, indicando  
las etapas del proyecto así como los costos de los mismos.
- e) Desarrollo del proyecto. O sea, en otras palabras, programación  
del mismo, lo que implica tomar decisiones sobre los tiempos -  
de entrega y comienzo de labores.
- f) Ejecución del Proyecto:  
En esta etapa, interviene formalmente el grupo de trabajo encar  
gado de realizar el proyecto.

A continuación se tratará sobre los datos necesarios para poder lleva  
r a cabo lo antes mencionado y son:

- 1) Datos viales.
- 2) Datos socio-económicos.

Primeramente se comentará en forma breve los datos viales que se requieren, a fin de tener las bases formales de una buena planeación, por lo cual vamos a considerar una población "x" en la que se diferenciarán las calles y las carreteras, siendo dicha diferencia en cuanto a la finalidad de las mismas, ya que si bien las primeras son la unión de los diferentes sectores que forman las colonias y a su vez la relación de estas mismas, las carreteras unen diferentes poblaciones entre sí, o sea que los caminos que cruzan las zonas rurales se les denominará carreteras y los que se localizan en zona urbana se les designarán como calles y avenidas.

Los datos viales son un factor determinante para realizar la planificación de una ciudad, ya que se pueden considerar como los datos básicos o primarios que intervienen en los estudios para formular la distribución y asignación del tránsito en las vialidades de la ciudad, así como para determinar su localización y características tanto geométricas como de operación, siendo dichos datos los siguientes:

a) Inventarios:

El inventario es una recopilación de informes relativos a los siguientes aspectos:



- 1) En las calles y carreteras existentes se deberá de reportar que tipo de calle o carretera es (según quede comprendida en la clasificación que les proporcionó el Sr. Ing. Enrique Salcedo en el capítulo denominado "Información Básica". Para lo cual es necesario obtener información relativa a los anchos de superficie de rodamiento, camellones y banquetas, así como el estado de la superficie de rodamiento, drenaje pluvial, iluminación, tipo de cruces con otras vías de circulación o bien con las vías de ferrocarril, características de las estructuras existentes tales como (Puentes, Pasos de Peatones, etc.) Asimismo se verá si existe derecho de vía para el caso de calles sub-urbanas y carreteras.
  
- 2) Recabar información respecto a los dispositivos para el control del tránsito con que cuenten tanto las calles como las carreteras que llegan a la ciudad, siendo estos dispositivos. Las señales verticales, marcas en el pavimento y semáforos. Para lo que se tendrá bastante cuidado en dejar perfectamente establecida la ubicación tanto de las señales como de los semáforos, en la inteligencia de que en el primer caso se indicará de que tipo se trata y para semáforos se indicará longitud del ciclo, de cuantas caras consta y número de lentes por cara, tipo de sincronización con que trabajan, etc.

- 3) Es importante recabar información sobre rutas de transporte existentes, ya sean autobuses, trolebuses, taxis, tranvías, metro, etc., debiéndose de indicar perfectamente, ruta de recorrido, intervalos de llegada, localización de los lugares donde se ejecutan ascensos y descensos de pasaje y tipo de unidades usadas, así como el número de personas que lo utilizan.
  
- 4) Factor muy relevante es también, la recolección de datos relativos a vehículos destinados a transporte masivo en zona rural, por lo cual se deberá procurar el determinar, tipo de servicio que se presta y unidades usadas (autobús, tren, avión) - debiéndose ubicar en el caso de autobuses, su terminal, número de unidades que arriban a la misma, cantidad de pasaje que se mueve, analizando si se localizan en una sola gran terminal, o bien si operan por una terminal para cada línea de autobuses, tipo de pasajeros que los utilizan, etc. En el caso de trenes y aviones se determinará el lugar exacto de su terminal y se reportará con qué facilidades cuentan, relativo a servicio de transporte masivo de pasajeros a la ciudad y viceversa, tipo de vialidades existentes, arribo de automóviles particulares y ocupancia por vehículo, etc.

En cuanto a los vehículos de carga es menester determinar si existe alguna terminal masiva donde ocurran o bien si es una -

por cada línea, localizar la central de abastos de la ciudad y sus características, tanto viales como de demanda por parte del público.

- 5) Operación de calles y carreteras Es de fundamental importancia el conocer en forma aproximada como es que funcionan las calles y carreteras existentes, en cuanto a su fin de conducir el tránsito tanto de vehículos como de peatones; procurando determinar en caso de existir anomalías, en qué consisten. Para lograr lo antes expuesto es menester realizar los siguientes estudios de la circulación:

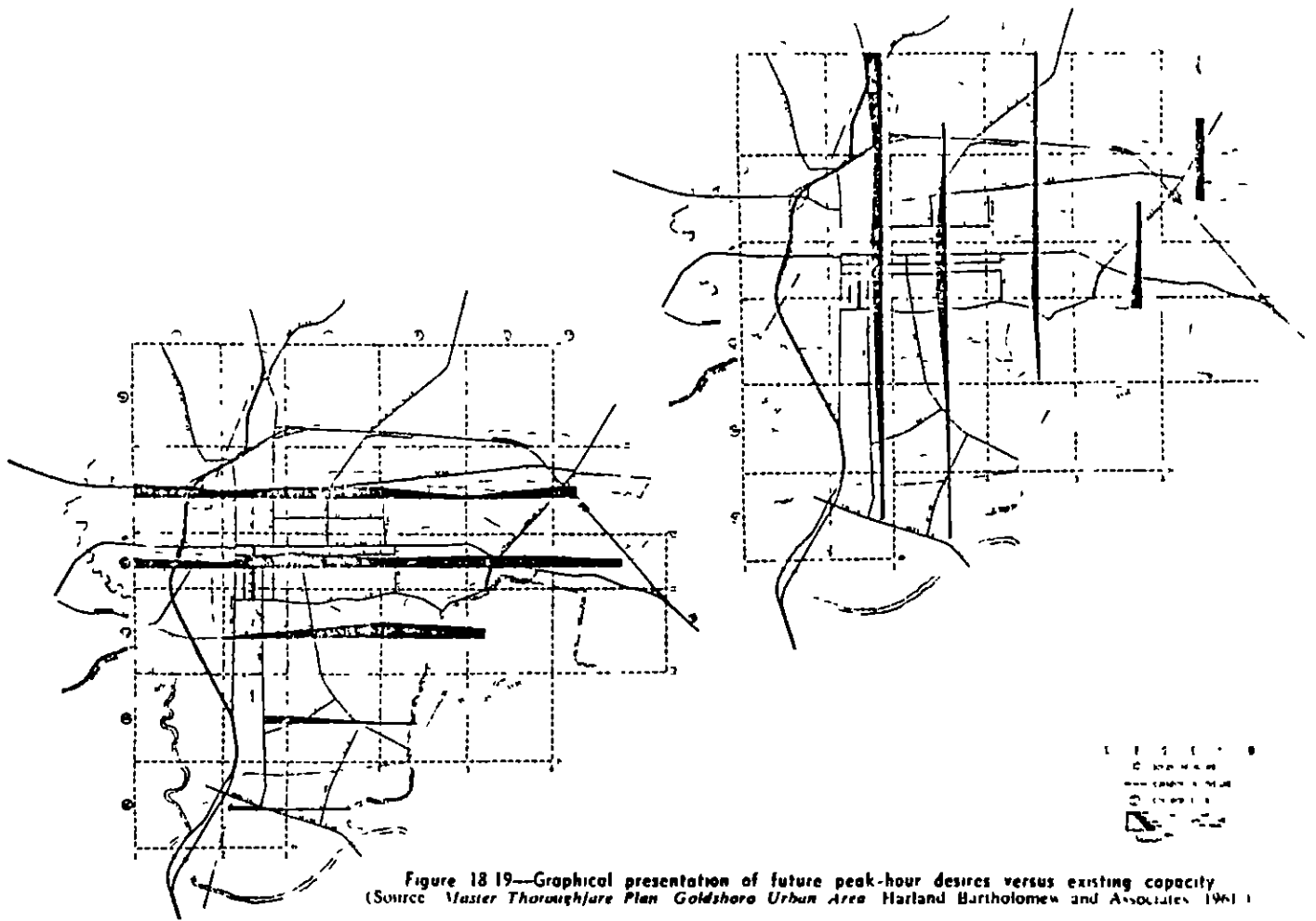
5.1) Volúmenes de Tránsito.

Esta tiene por objeto conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado, estos estudios varían, desde uno muy sencillo en un cierto lugar, hasta los muy completos en toda una red, ya sea de calles o carreteras, es importante que el estudio a realizar sea de una semana de duración, procurando que se determine en forma simultánea en las zonas que presenten características similares (mismas colonias, calles sub-urbanas y carreteras, etc.).

En virtud de la importancia y relevancia que tiene el conocer los volúmenes de tránsito que circulan por una calle para el óptimo de la misma, los datos obtenidos deberán contener la información siguiente:

Cuáles son las características de la circulación, cuantos vehículos transitan, de donde a dónde van, como circula el tránsito y que costo tiene ese movimiento, esto se resuelve obteniendo los factores que a continuación se presentan:

- 5.1 a) Volumen en la hora que se determinó ésta de máxima demanda, indicándose la composición vehicular en esa, expresada en % (Automóviles, Autobuses y Camiones), ya que existen dos grandes tipos de vehículos, para movimientos de personas y para movimiento de bienes.
- 5.1 b) En los cruces e intersecciones de una ó mas calles es importante definir los movimientos direccionales de los vehículos, lo que se logra mediante recuentos manuales.
- 5.1. c) Conocer el origen y destino de los vehículos que circulan en la ciudad, esto se logra mediante estudios así denominados, existiendo varios métodos para obtener una información, la que nos permite diferenciar el tránsito local del foráneo, así como el que va de paso por la ciudad o se va a quedar en ella, esto ayuda a la determinación de si se requiere o no la construcción de libramientos, o bien periféricos a las ciudades.



## 5.2 Tiempos de recorrido:

Tienen por objeto conocer el tiempo que tarda un vehículo en recorrer una cierta vía, comportándose en forma semejante a los vehículos que por ella circulan, lo cual es un indicador bastante aceptable de las demandas que se tienen en esa vía durante el estudio.

Se indican las causas por demora, pudiéndose determinar - por ende, en forma precisa, el comportamiento de la corriente de tránsito en dicha calle, posteriormente se dibujan las curvas isócronas en un plano de la ciudad, ubicándose los puntos que resultaran ser conflictivos. Existen dos métodos para llevar a cabo este estudio, pero el más recomendado es el de "vehículo flotante" que es el que aquí se describió, otro es el denominado "lectura de placas"

## 5.3 Accidentes.

El conocer el número de accidentes que ocurren en un cierto punto, determinando las causas de los mismos y su frecuencia es de valiosa ayuda para el Ingeniero de Tránsito y para la buena operación de las calles, ya que la pérdida económica que representan amén de las penas morales son de gran envergadura.

#### 5.4 Calidad de la Circulación de Vehículos.

Estos datos son necesarios para tener una razón, necesaria y suficiente para el diseño de las vías de circulación, así como para su evaluación, por lo que es pertinente determinar esta calidad de la circulación en base a las opiniones de los conductores, sujetas a los siguientes conceptos.

5.4.1) Velocidad de circulación.

5.4.2) Confort del Viaje.

5.4.3) Seguridad.

5.4.4) Conveniencia de usar esa vía.

5.4.5) Economía.

#### 5.5 Estacionamientos.

Se deberá determinar el número de estacionamientos que se pueden brindar en la vía pública, sin que afecte la buena operación de la calle, asimismo es menester conocer la ubicación y la capacidad de los lotes o edificios destinados a estacionamiento, para lo cual se deberá de indicar en un plano de la ciudad estos tipos de estacionamiento y la cantidad de espacios ofrecidos, así como la demanda de estacionamientos existentes, a fin de que se encuentre balanceada la relación oferta - demanda, ya que una ciudad que

presenta deficiencias en la relación antes mencionada siendo la demanda mayor que la oferta, tendrá congestionamientos de su circulación de vehículos, que se traduce en pérdidas económicas, contaminación ambiental y en trastornos en la salud mental de los usuarios de esas vías.

Es deseable se procure información relativa a las maniobras de carga y descarga de mercancía en las zonas comerciales, a fin de que se pueda regular la hora en que sea factible -- efectuar este tipo de "maniobras" sin que se entorpezca la buena operación de las calles.

Para que la obtención de los datos antes mencionados sean un indicador de cómo operan las calles, existe una gran variedad de métodos que se pueden consultar en cualquier libro sobre Ingeniería de Tránsito, pero me permito recomendar el Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, editado por la Asociación Mexicana de Caminos, A.C.

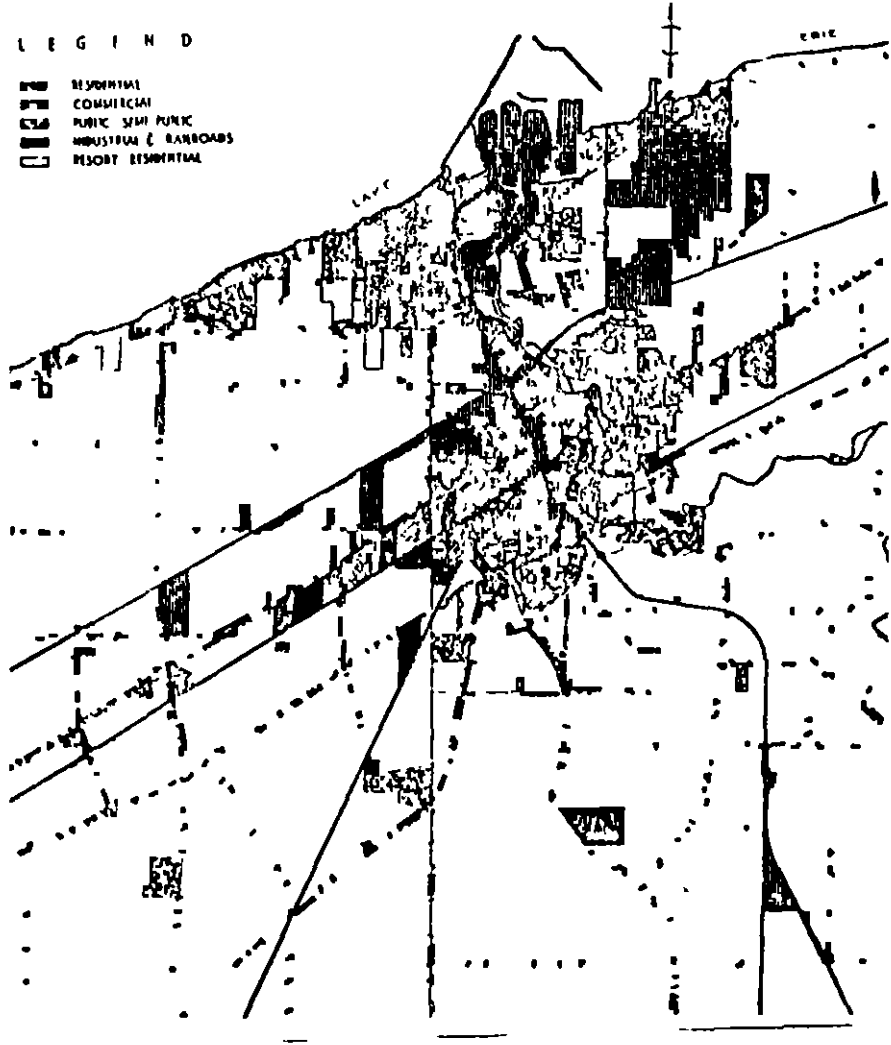
- 6) El poder determinar los diferentes usos que se le dá a la tierra, en las zonas aledañas a las vías es de vital importancia para poder predecir el crecimiento de vehículos y de la zona, a fin de poder estar en posibilidades de contemplar nuevos proyectos ó bien tomar precauciones en los que se realicen.





LEGEND

- RESIDENTIAL
- COMMERCIAL
- PUBLIC SEMI PUBLIC
- INDUSTRIAL & RAILROADS
- RESORT RESIDENTIAL



## 7) Características Socio-Económicas.

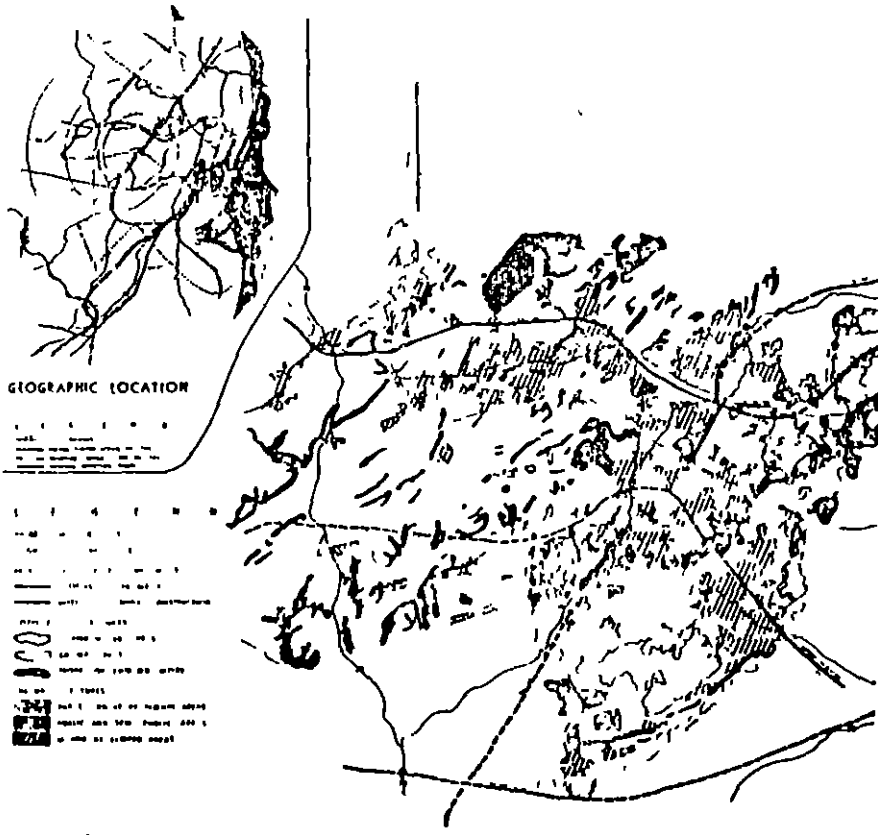
Es fundamental el conocer el comportamiento social, económico y político de la ciudad en estudio, para lo cual es necesario definir los datos que a continuación se enlistan:

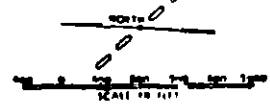
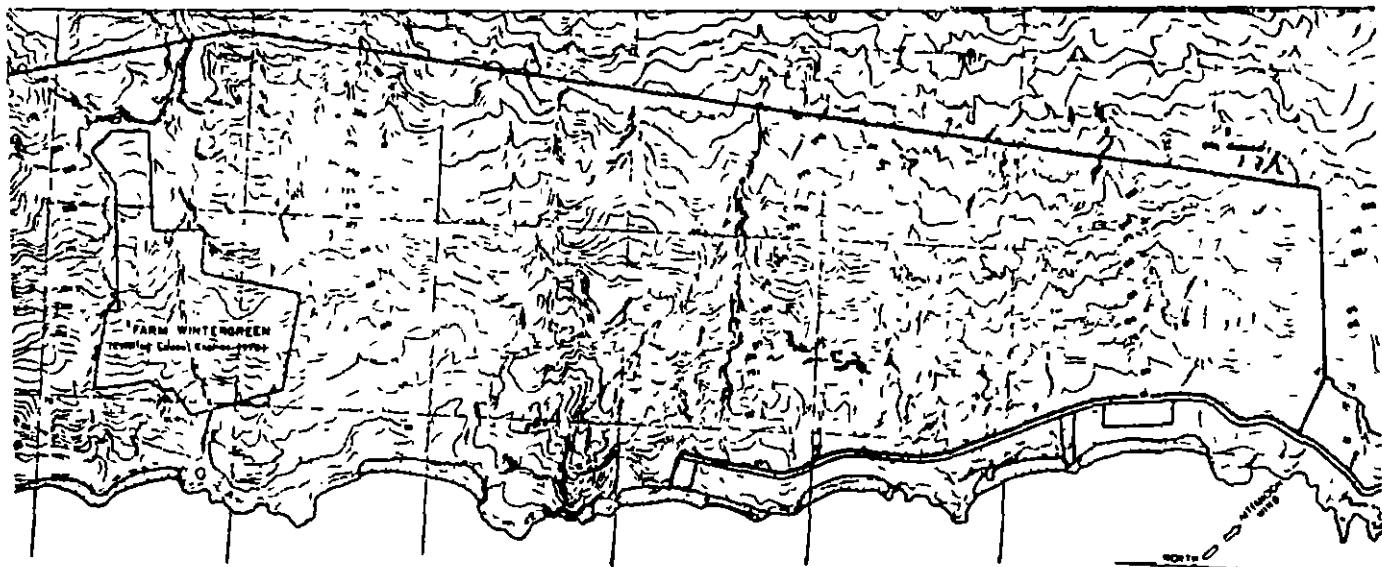
### 7.1) Geográficos:

El crecimiento de las ciudades se ve en muchas ocasiones obligado por las características geográficas, esto es ciudades cerca de ríos se desarrollan en forma muy diferente a las que están en montaña o en las costas, ya que su área de influencia se ve ampliada o reducida en juicios de las comunidades rurales con que cuente, así como de los diversos sistemas de transportes que la alimenten, es por esto que la topografía juega un muy importante papel en el crecimiento y desarrollo de las ciudades y en la implementación de sus sistemas de transporte rurales y urbanos. Los datos topográficos se pueden obtener mediante el auxilio de la aerofotogrametría. (fotografías áreas, mosaicos restituidos) se puede considerar que una escala de 1:10000 es adecuada.

### 7.2 Población.

Los principales problemas de tránsito son originados por la necesidad que tiene la gente de trasladarse de la casa al trabajo y viceversa.





MATSON WAILEA LANDS  
**TOPOGRAPHY**



MATSON WAILEA LANDS  
**SLOPE OF LAND**

**LEGEND**

GRADE	ACRES	% OF TOTAL
0-5%	120	8
5-10%	350	37
10-20%	670	49
OVER 20%	180	10
	<b>1,800 ACRES</b>	<b>100 %</b>

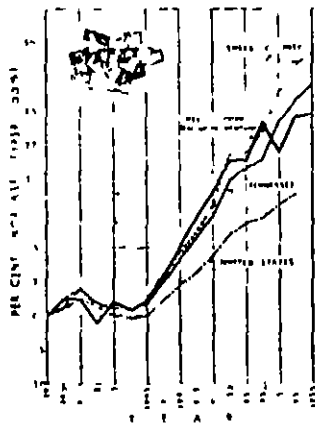


Los datos de población se obtienen generalmente a base de zonas (mediante los censos que se realizan cada 10 años) y en base a la estadística se puede determinar el desarrollo de la zona en cuanto a población se refiere, asimismo es muy importante el conocer en forma aproximada el crecimiento de la población por zonas en una cierta ciudad, a fin de poderlas dotar de todos los servicios sanitarios y otros, amén de calles y transportes adecuados, para lo que se recomienda ubicar en un plano de la ciudad la densidad de población existente, de donde se desprende la imperiosa necesidad de que las ciudades cuenten con un Plano Regulator a fin de que su crecimiento no sea anárquico, y se le pueda dotar de todos los servicios necesarios, evitándose con esto la creación de zonas de miseria alrededor de las ciudades.

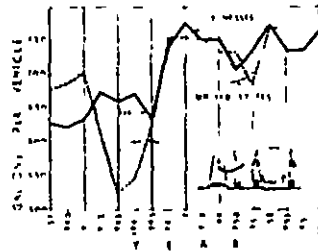
Asimismo es importante obtener el número de vehículos registrados en los últimos años. Es recomendable localizar en un plano de la ciudad los principales centros generadores de viajes, tales como Estadios, auditorios, cines, bibliotecas, universidades, etc.

En general se puede sugerir recabar el mayor número de datos estadísticos a fin de estar en posibilidades de tener predicciones de crecimiento de tránsito y de población en forma "científica".

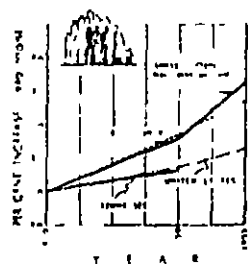




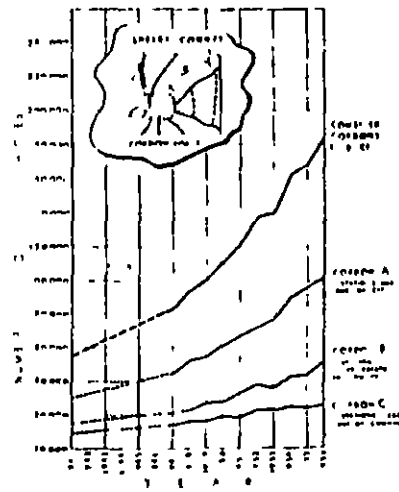
VEHICULAR REGISTRATION



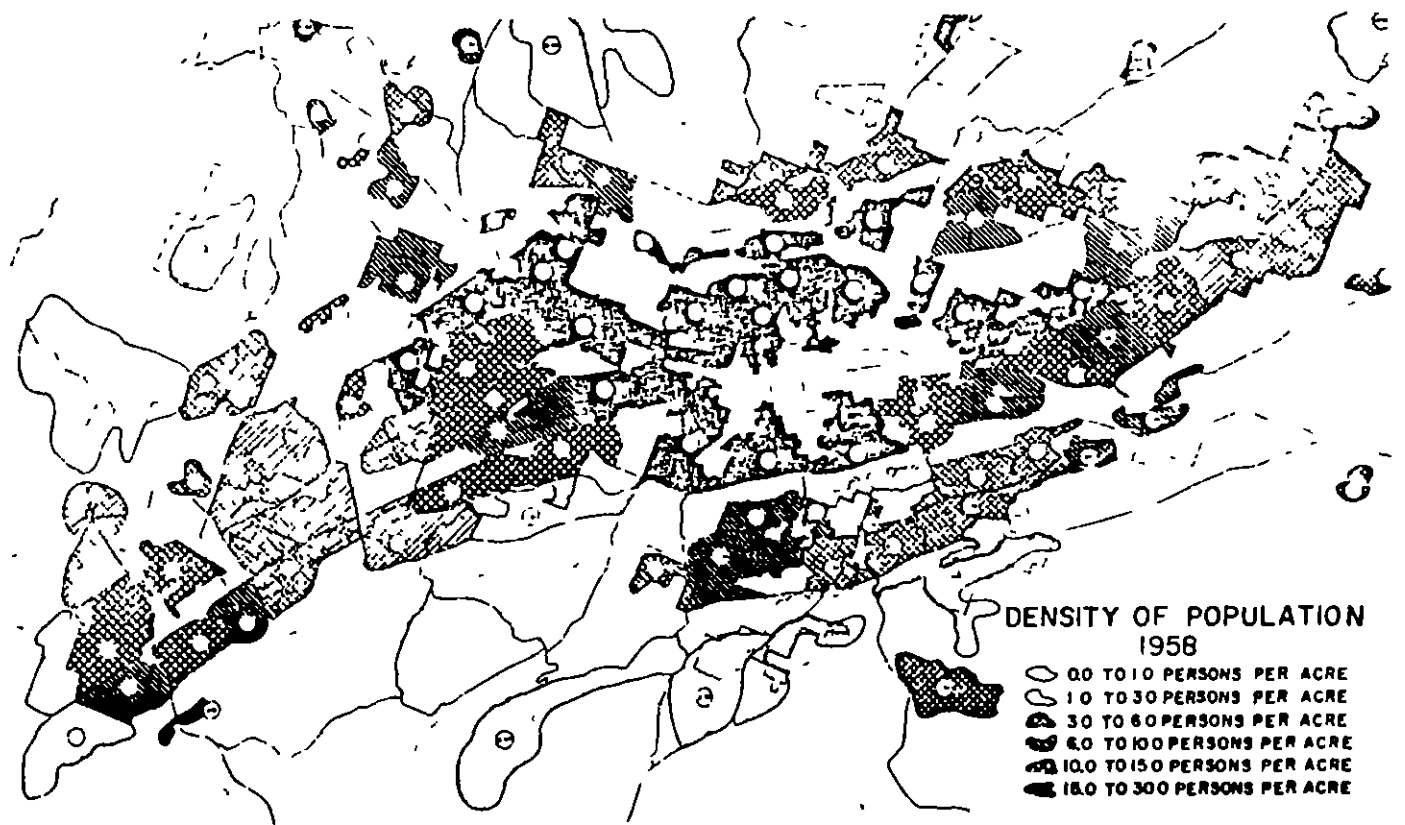
GASOLINE CONSUMPTION



POPULATION GROWTH

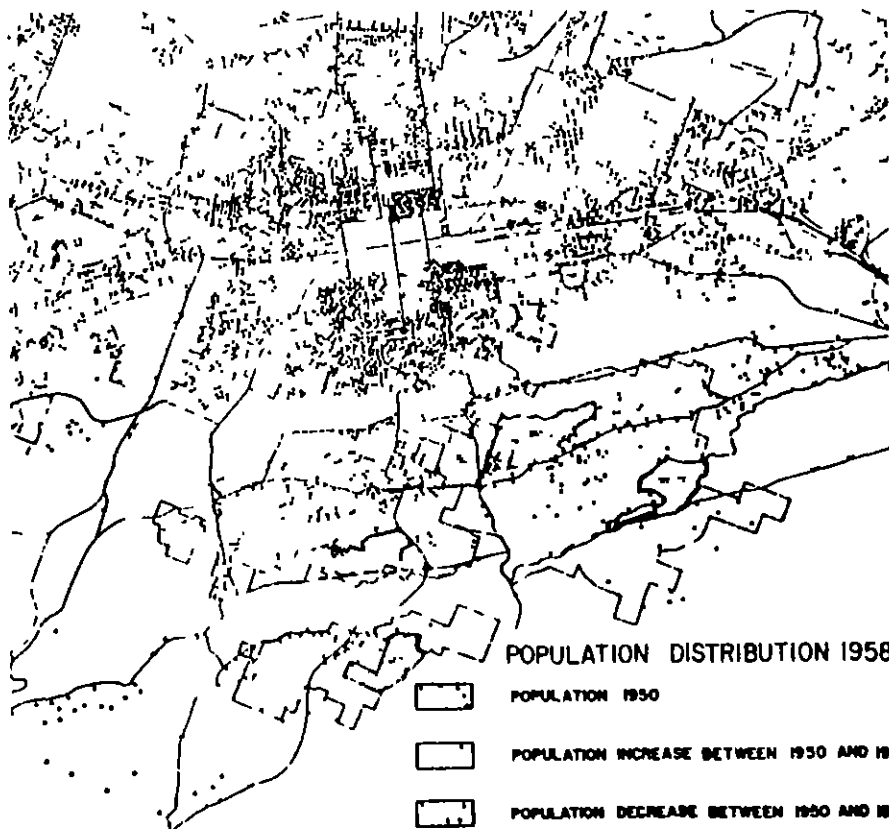


24 HOUR ANNUAL AVERAGE TRAFFIC



**DENSITY OF POPULATION  
1958**

- 00 TO 10 PERSONS PER ACRE
- ◐ 10 TO 30 PERSONS PER ACRE
- ▨ 30 TO 60 PERSONS PER ACRE
- ◑ 60 TO 100 PERSONS PER ACRE
- ◒ 100 TO 150 PERSONS PER ACRE



**POPULATION DISTRIBUTION 1958**



**POPULATION 1950**



**POPULATION INCREASE BETWEEN 1950 AND 1958**



**POPULATION DECREASE BETWEEN 1950 AND 1958**

**NOTE: EACH SYMBOL EQUALS 90 PERSONS**

### 7.3) Costo de Circulación.

Es menester determinar el tipo de vehículo que va a circular a fin de estar en condiciones de conocer las características operacionales del mismo, para que en base a ello se determinen los radios de giro en las intersecciones de las calles y calcular el costo de tracción de los diferentes vehículos; y dado el caso poder recomendar la unidad idónea para el transporte masivo de pasajeros, así como el tipo de camiones que traslade la mercancía de la central de carga y la de abastos.

Con la obtención de los datos antes mencionados, estamos en posibilidades de tomar las medidas necesarias a fin de realizar una buena planeación, de mejorar una vía existente o bien para generar alternativas de algún proyecto en particular.

En el caso de cualquier proyecto que se trata, se fijarán las metas en tres etapas, corto, mediano y largo plazo, o bien se dan soluciones inmediatas, mediatas o a largo plazo, pudiendo ser éstos realizados de 0-5 años, 6 -10 años y de 11-15 años.

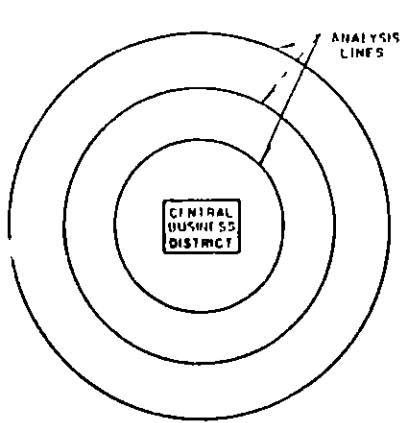
En el caso de llevar a cabo una mejora a una obra ya existente se requieren datos reales, pero si se pretende llevar a cabo un nuevo proyecto en una zona que no se ha desarrollado, los datos se deducen en base al tipo de obra que se desee realizar, pero se requieren básicamente los mismos -

datos, tan solo que para el primer caso se obtienen directamente, mientras que en el segundo, repito, mediante suposiciones basadas en el tipo de obra a ejecutar y en experiencias que se han tenido con proyectos similares.

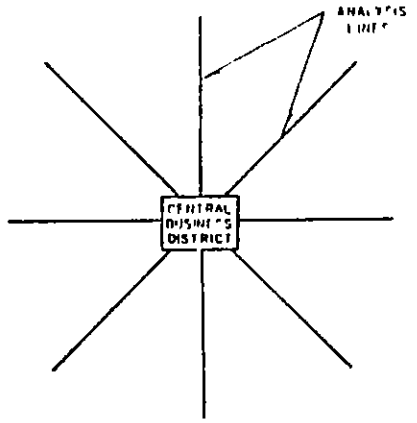
Una vez realizada esta aclaración veremos los logros a obtener en base a una buena planeación de las calles y carreteras.

- 1) Se tendrá una unión adecuada entre el medio interno (calles) y el externo (Carreteras) esto es, las calles serán continuación de la carreteras y no se sentirá el cambio brusco de congestionamientos, desviaciones, etc., los usuarios que deseen entrar a la ciudad lo harán plácidamente y los que no, podrán seguir su recorrido con un mínimo de demoras, teniéndose un balance del tránsito de paso con el local.
- 2) Los vehículos de transporte de pasajeros llegarán a una terminal única donde se podrá hacer el traslado a vehículos de transporte masivo urbanos, ya que se parte de la idea, que el viaje se termina no en la terminal sino en la casa del usuario, donde empezó, asimismo se evitará que la ciudad se sature de vehículos grandes y contaminantes.

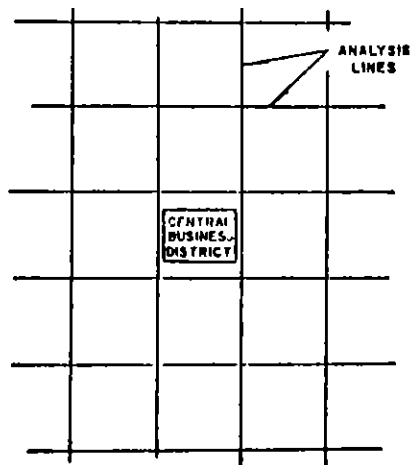
- 3) Para el caso de vehículos de carga se tendría una terminal única y se ejecutaría el traslado de la mercancía en vehículos pequeños para trasladarla a su destino final.
- 4) Las calles y las carreteras estarán de tal manera inter-relacionadas que permitirán velocidades adecuadas según el tipo de vía, de tal suerte que se ahorre tiempo de recorrido.
- 5) Se tendrá un balance exhaustivo entre los diferentes tipos de calles (de acuerdo a la clasificación antes dada) a fin de que no se vean invadidas por el tránsito.
- 6) Las calles principales y carreteras deberán de proporcionar al usuario la máxima libertad de elección para trasladarse de una parte a otra de la ciudad, esto se logra mediante instalaciones de tipo radial que atraviesen la ciudad, así como mediante el uso de anillos interiores.
- 7) Se tendrá cuidado que las calles tengan un tratamiento y las carreteras otro en cuanto a derecho de vía, intersecciones, control de accesos, etc.



RADIAL MOVEMENTS



CIRCUMFERENTIAL MOVEMENTS



CROSS-TOWN MOVEMENTS

- 8) Las calles tendrán un funcionamiento a un nivel de servicio adecuado evitándose con esto los congestionamientos y pérdidas económicas y por ende la contaminación.
- 9) Las rutas de autobuses y los sistemas de transporte masivos deberán de estar balanceados a fin de que sean óptimos y no resulten en una duplicidad.
- 10) Las colonias residenciales quedarán aisladas de las molestias propias de los altos volúmenes de tránsito, que no tengan relación con dichas colonias, pero debiendo de tener accesos adecuados a las vías rápidas.
- 11) Las calles principales y carreteras deberán de proporcionar derechos de vía suficientes a fin de permitir el futuro acondicionamiento de pavimentos.

Lo anterior se puede obtener mediante una estrecha inter-relación entre el planificador y el Ingeniero de Tránsito, determinando prioridad de vías de circulación y diseñando adecuadamente las secciones de las calles, contemplando las necesidades actuales y futuras, mediante una cuidadosa asignación del tránsito a cada vía y un análisis de capacidad y niveles de servicio de las vías en cuestión.



## BIBLIOGRAFIA

- 1) El Ingeniero frente a la Planeación del Desarrollo en los Diversos Sistemas Económicos, Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. 1967.
- 2) A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets. Association of State Highway Officials. 1973.
- 3) Traffic Engineering hand book, Institute of Traffic Engineers 1965.
- 4) Traffic System Analysis for Engineers and Planners.
- 5) Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, Asociación Mexicana de Caminos. 1971.
- 6) Manual de Ingeniería de Tránsito.- Guido E. Radelat.



ASIGNACION DEL TRANSITO

Ing. José Mirabent González Jauregui

Enero 1976

## II) ASIGNACION DEL TRANSITO.

La asignación del tránsito, es el proceso mediante el cual los viajes previstos desde una zona de origen a otra de destino - son asignados a rutas concretas, dicho proceso se basa en factores cuya influencia en la selección de ruta es conocida; los principales usos de la asignación del tránsito son:

1) Desarrollo y prueba de alternativas de rutas viales ó bien de transporte, ya que el objetivo de la fase de asignación es la simulación de la elección de la ruta; por lo que se pueden considerar dos fases.

1.a) Determinación de rutas individuales .

2.a) Integración de las rutas individuales en recorridos seleccionados.

En estas dos fases se pretende que en la ruta seleccionada sean mínimos los costos del viaje y que sea seguro.

Es por ello que originalmente en ciudades pequeñas se decidían las rutas óptimas en función del criterio personal de los planificadores o ingenieros; aplicando en forma somera algunos ajustes a su elección. Esto podía funcionar de modo satisfactorio ya que se trataba de zonas muy pequeñas -

donde el número de alternativas para cada una de ellas era reducido, pero ya cuando se convierten las zonas en grandes ciudades, es menester hacer uso de los centroides de zona en base a los estudios de origen y destino obtenidos, lo que se traduce en la implementación de métodos rápidos y económicos para este fin, dichos métodos serán estudiados posteriormente.

- 2) Establecer rangos de prioridad en los programas de construcción de vías o bien en el sistema de transporte.
- 3) Detallar los generadores de tránsito y sus efectos en la operación de calles y carreteras
- 4) Arroja a la luz las necesidades y los bienes que se obtendrán con la construcción de un corredor vial.
- 5) Desarrollar los centros generadores de tránsito y es un indicador de la retroalimentación que debe de tener cualquier plan a fin de que éste siempre sea funcional.

En resumen de lo anterior, la asignación de tránsito es la indicación ideal de lo que los conductores harían en base a una libre elección, sin la restricción presente, algunas veces de la saturación

cion de rutas. Es por ello que la distribución de tránsito en rutas alternas es mas bien una indicación de lo que la gente hace en base a razones de condiciones de ruta, pudiendo ser una de ellas la saturación total de la misma. Por esto se deberá de tener sumo cuidado a fin de asegurar que el parámetro que se está considerando es realmente la asignación del tránsito y no la distribución del mismo. Los mapas de afluencia del tránsito pueden ser engañosos para alguien que no aprecia el hecho de que la cantidad de tránsito mostrada en las rutas actuales, está así, en virtud de que no hay otras rutas alternas convenientes.

Es de recomendarse que en la asignación del tránsito en una área con un gran número de zonas se auxilie con el uso de la computadora. Como se decía con anterioridad existen actualmente métodos de asignación rápida y económicos, que son los siguientes:

- 1) Algoritmo de Moore
- 2) Método de "Todo o Nada"
- 3) Curvas de diversificación
- 4) Asignación proporcional a varias rutas.
- 5) Estimación directa del tránsito.

Primeramente se definirá la palabra Algoritmo, que es una simulación mediante un modelo matemático. Este Algoritmo consiste en el

establecimiento de los recorridos en los que se invierte el menor tiempo, esto se deduce de aplicar los tiempos de recorrido existentes o bien supuestos en la red propuesta, asimismo los orígenes y destino de los viajes son obtenidos de los estudios así llamados.

El desarrollo de este Algoritmo consta de dos pasos fundamentales .

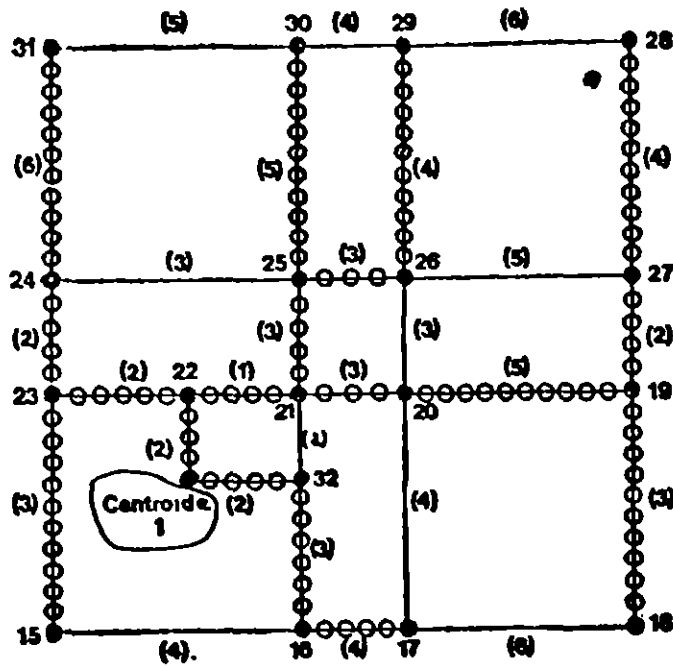
- 1) Determinar todas las posibles rutas entre dos zonas \* mediante una red vial.
- 2) Es la acumulación de todos los viajes a realizar por cada segmento de la red.

Una vez determinado lo anterior se procede a elegir el camino óptimo en función de los viajes, y así se está asignando el tránsito a cada vía

Un ejemplo ilustrará el método a seguir a fin de obtener el árbol de tiempos de recorrido mínimo para el centroide 1 (El centroide es el punto que representa una zona de tránsito en un análisis.

\* Unidad básica para el análisis de viajes establecido teniendo en cuenta las bases del sistema de transporte, las barreras más importantes para los flujos y las características de los usos del suelo.

FIGURA NUMERO 1



Leyenda

Nodo

Número de nodo

Tiempo de viaje en la rama

Ruta de tiempo mínimo

Comenzando en el centroide 1, se va a cada nodo y se anota para cada uno el tiempo de recorrido empleado, v.g.,  $T_{1-22} = 2$  y  $T_{1-32} = 2$ . Se considera como nodo más próximo el que está a menor tiempo de recorrido del centroide. En nuestro ejemplo los



nodos 22 y 32 están a igual tiempo de recorrido, en este caso se utiliza como más próximo el de numeración más baja, esto es, el 22. Después se anota el tiempo total desde el centroide 1, a través del nodo 22, a todos los nodos conectados directamente con dicho nodo, v.g.,  $T_{1-22-21} = 3$  y  $T_{1-22-23} = 4$ . Consideramos ahora el nodo 32, v.g.,  $T_{1-32-21} = 4$  y  $T_{1-32-16} = 5$ . Se han calculado dos rutas distintas para alcanzar el nodo 21; elegimos la más corta,  $1-22-21=3$ .

Tomamos ahora el nodo 21 y hallamos:

$$T_{1-22-21-20} = 6$$

$$T_{1-22-21-25} = 6$$

Del mismo modo para el nodo 23:

$$T_{1-22-23-15} = 7$$

$$T_{1-22-23-24} = 6$$

Y para el nodo 16.

$$T_{1-32-16-15} = 9$$

$$T_{1-32-16-17} = 9$$

De nuevo hemos calculado dos rutas para el nodo 15, eligiendo la más corta ( $1-22-23-15=7$ ). Este proceso se repite hasta alcanzar todos los nodos. La figura anterior muestra los recorridos de -

tiempo mínimo para todos los nodos desde el centroide 1.

Se ha desarrollado una gran cantidad de programas para ordenadores basados en el Algoritmo de Moore. Estos programas, además de proporcionar el árbol de recorridos, realizan la asignación de viajes a los distintos tramos de la red.

Estos programas pueden ser utilizados para redes de transportes públicos, pero son más adecuados para los casos de redes de carreteras rurales y urbanas en las que las condiciones de uso de cada tramo son más uniformes.

Este procedimiento se va complicando en función directa del número de zonas a desarrollar, es por ello que se requiere del auxilio de las computadoras, en las figuras siguientes, se puede apreciar como son las intersecciones en la realidad y como se consideran teniendo en cuenta los tipos de facilidades existentes, incluyéndose las posibles prohibiciones que se presenten en la operación de calles y carreteras

Ver figuras 2, 3, 4 y 5

2) Asignación por el método de "todo o nada" .

Se dice que se ha realizado una asignación "todo o nada" cuando se han asignado todos los viajes entre dos zonas a los distintos tramos, formando los recorridos de tiempo mínimo entre los dos centroides

FIGURA NUMERO 2

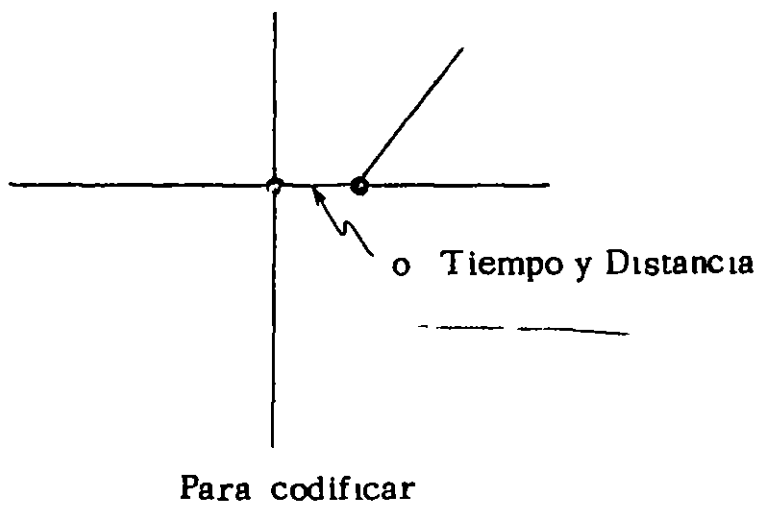
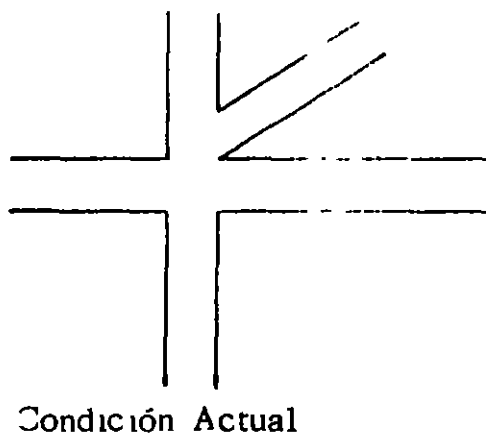
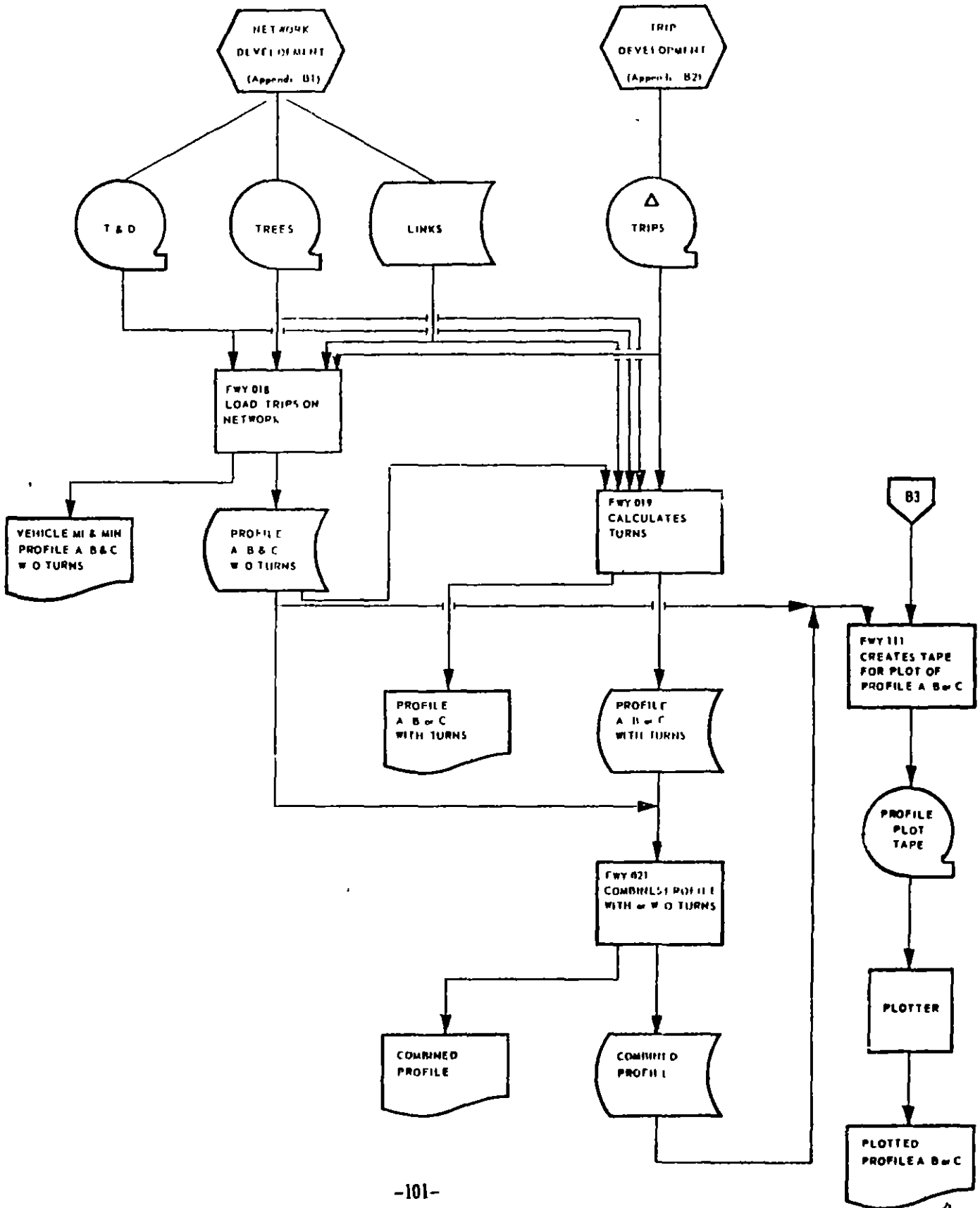


FIGURA NUMERO 2'  
 MODELO DE ASIGNACION



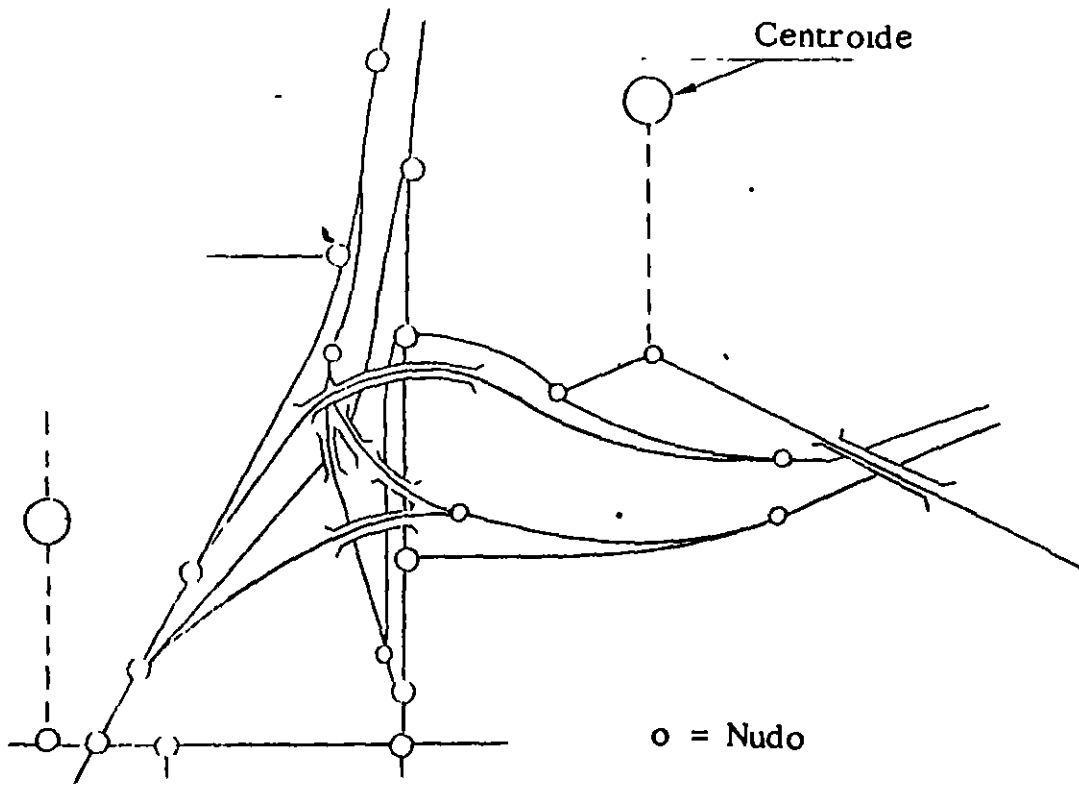
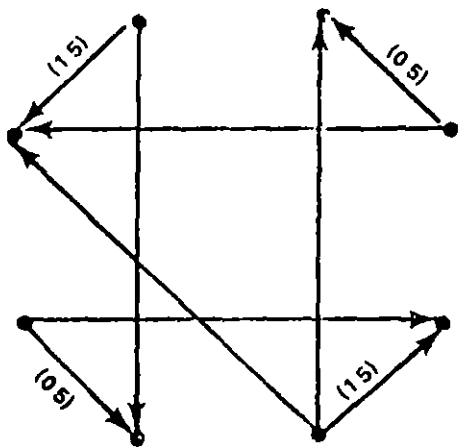
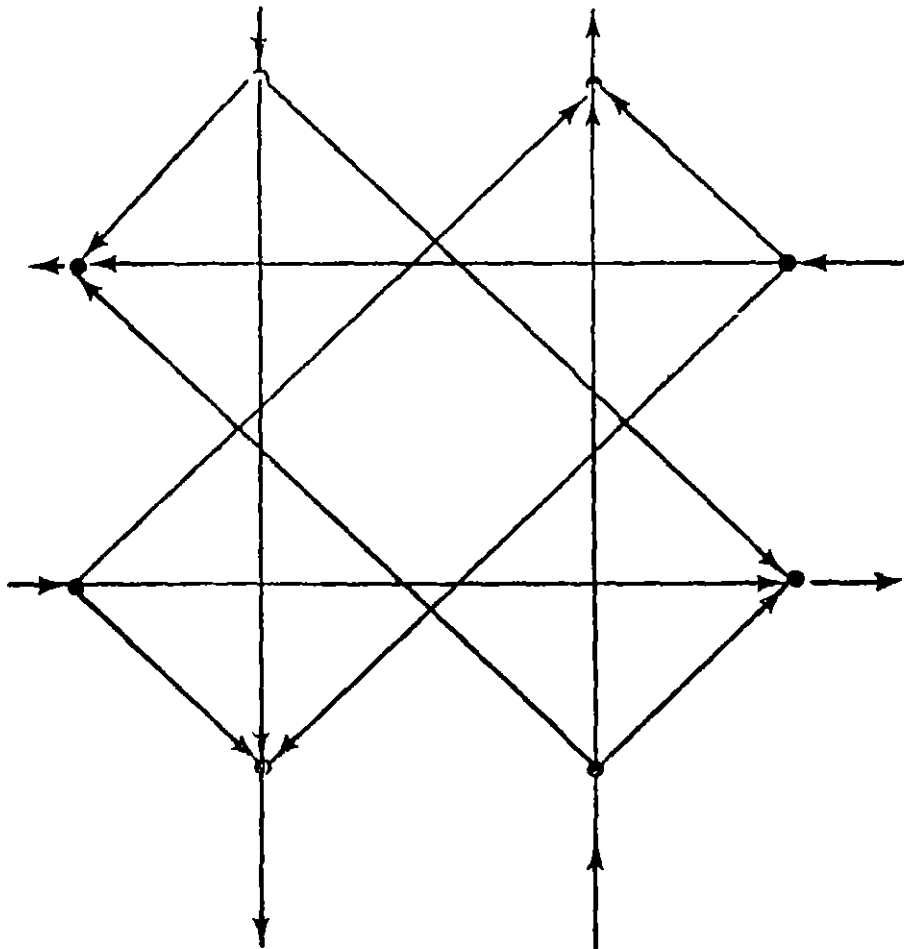
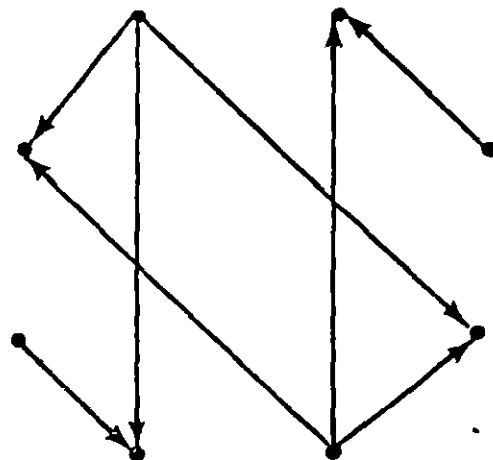


FIGURA NUMERO 3

FIGURA NUMERO 4



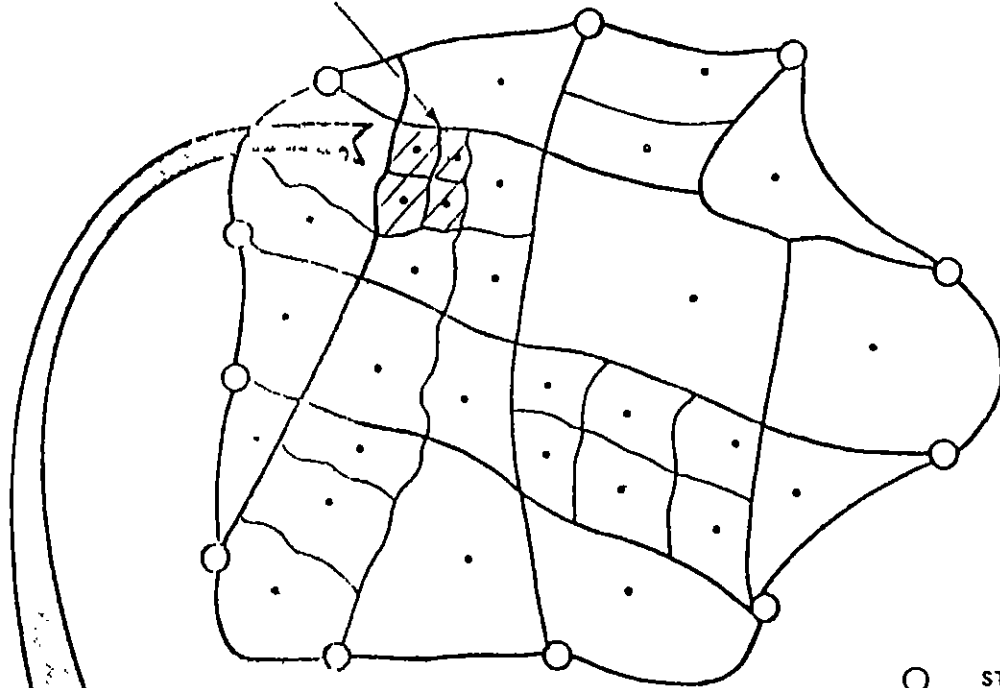
SITUATION A



SITUATION B

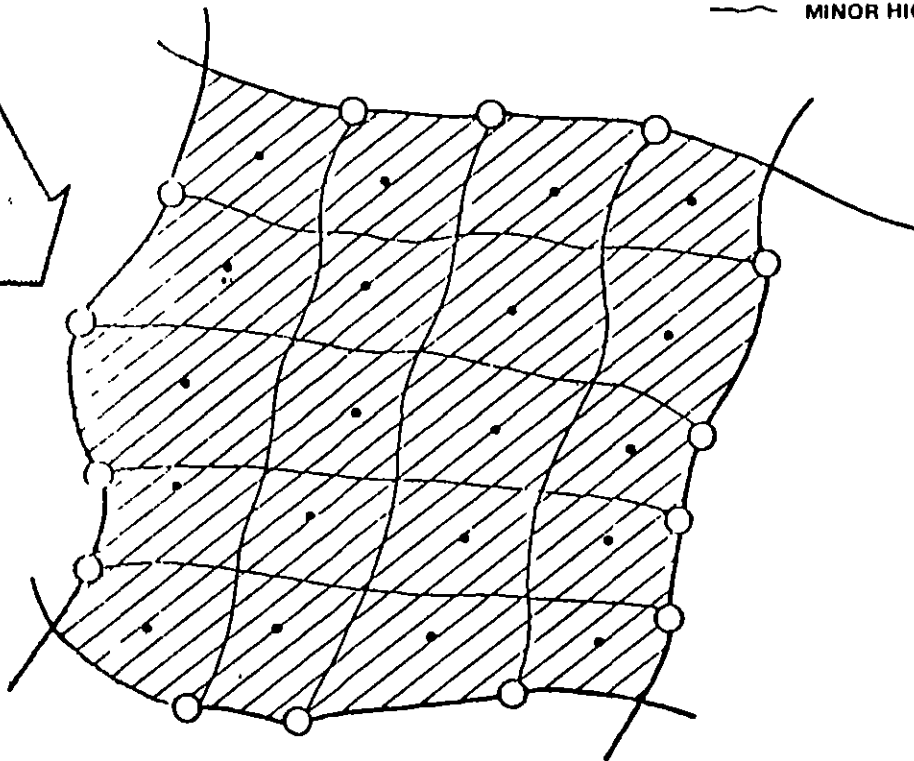
DETAILED

STUDY AREA



REGION WIDE ASSIGNMENT AREA

- STATION
- ZONE CENTROIDS
- MAJOR HIGHWAYS
- - - MINOR HIGHWAYS



DETAILED ASSIGNMENT AREA

FIGURA NUMERO 4'

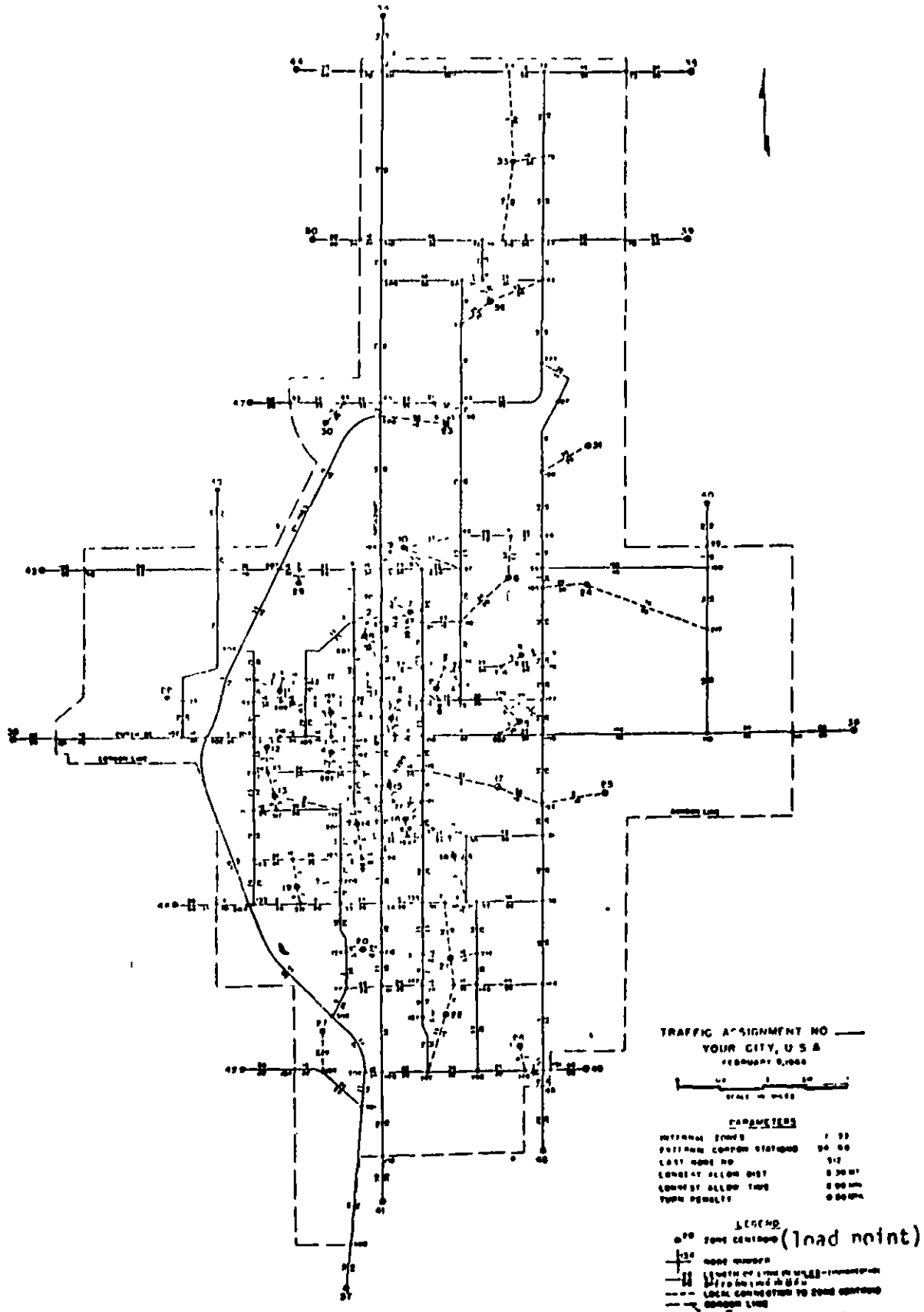


FIGURA NUMERO 5



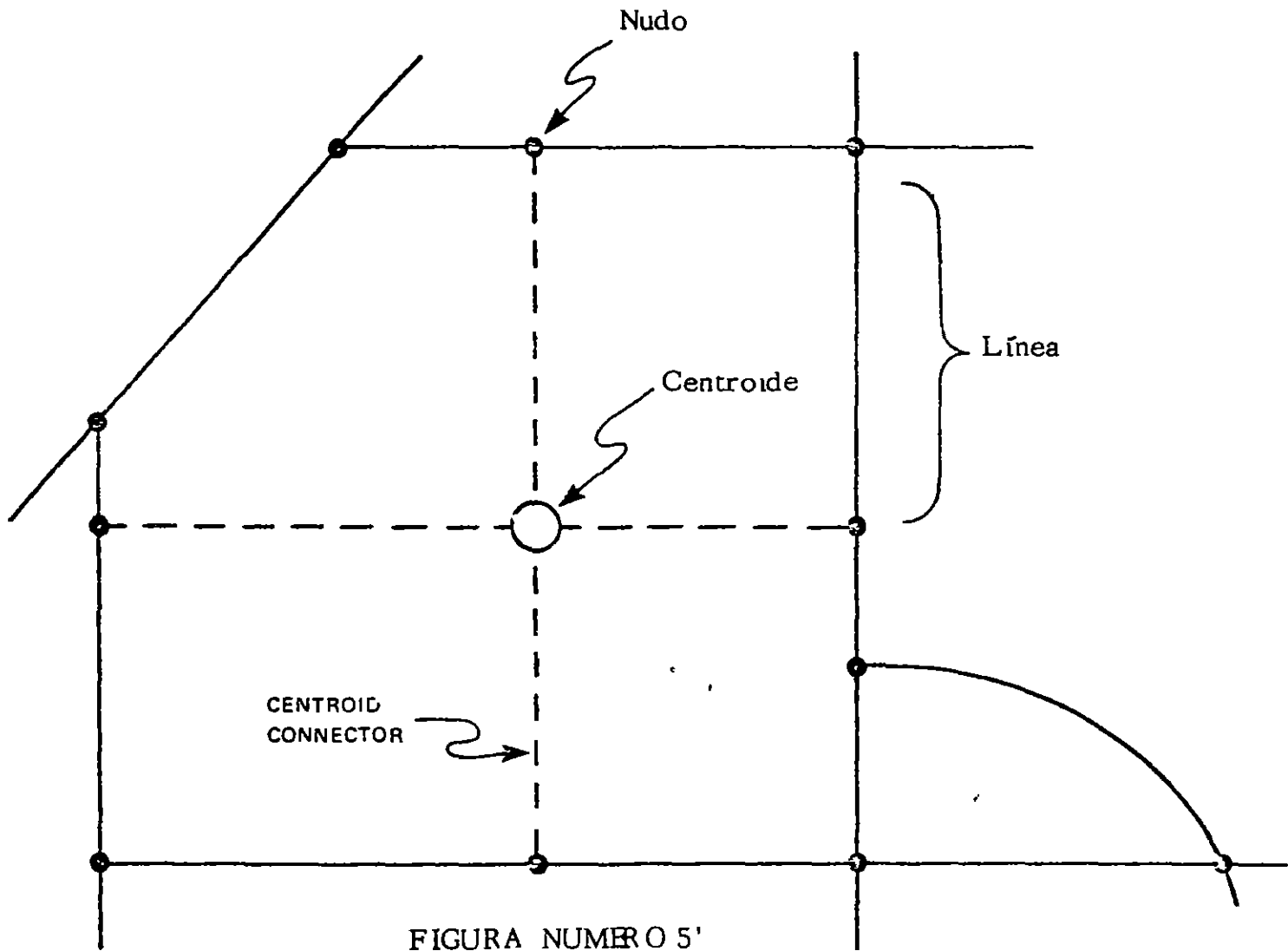


FIGURA NUMERO 5'

de zona, y cuando este procedimiento se ha repetido para todos los pares de zonas.

La experiencia ha demostrado que la técnica de "todo o nada" conduce a asignaciones que se quedan cortas. Cuando dos o mas tramos o carreteras están juntos y aproximadamente en la misma dirección, se considera a uno de ellos como el más rápido, y se estimará que todos los viajes pasan por él. Este error se puede remediar parcialmente con una interpretación más exacta de los flujos en cada uno de los tramos. En ciertas circunstancias, a uno de los tramos se le asigna el volumen del tránsito de paso y a otro el del tránsito local, en estos casos la asignación "todo o nada" está bastante de acuerdo con la realidad.

Conviene examinar por qué, a veces, las asignaciones "todo o nada" proporcionan resultados poco fiables. Algunas de las razones que se enumeran a continuación son aplicables a todos los procedimientos de asignación, y otras particularmente al procedimiento de "todo o nada"

1. Los procedimientos de asignación suponen que el origen y destino de cualquier viaje están en los centroide de zona. Está claro que los viajes tienen sus extremos en puntos diseminados en toda el área, y que una hipótesis de este tipo conduce a una

simulación muy pobre de la situación real. Otro factor asociado a esta hipótesis es que los viajes se realizan precisamente a través de los tramos que componen la red elegida. Los errores debidos a la omisión de las vías menos importantes, que en algunos casos pueden soportar flujos elevados, pueden, en algunos casos, llegar a tener importancia.

2. Ya hemos apuntado anteriormente que un individuo al seleccionar la ruta no sólo considera el tiempo de recorrido, sino que más exactamente intenta minimizar los costos. Si se utiliza exclusivamente el tiempo como parámetro, se puede incurrir en errores de bulto a la hora de asignar flujos, puesto que un conductor también tendrá en cuenta factores tales como el número de virajes a realizar, el número de señales que ha de respetar, ó, en el caso de transportes públicos, el viajero considerará el costo y el número de transbordos, además del tiempo de viaje.
3. Otro factor que puede conducir a errores en la asignación es el uso del costo medio, cuando obviamente la gente da un valor completamente diferente a los distintos parámetros, v.g., cada persona da un valor distinto a la distancia, al tiempo o al número de virajes, y, al utilizar un valor promedio para cada tramo de la red, es imposible obtener una representación ajustada de los flujos.

4. Las asignaciones se realizan a menudo sobre las bases de un promedio para las condiciones de tránsito a lo largo de las veinticuatro horas del día, ya que las condiciones del tránsito, y en consecuencia los tiempos de recorrido, varían continuamente a lo largo del día.
5. Los individuos no sólo valoran de modo diferente cada uno de los elementos que integran los costos totales, sino que también estiman el valor de cada parámetro con niveles de precisión diferentes. Por ejemplo, un viajero que realiza un reco  
rrido todos los días es capaz de considerar el tiempo de reco  
rrido con mayor precisión que un individuo que lo realiza por primera vez.
6. Por último, resulta imposible medir los tiempos de recorrido y las demás variables del costo con el suficiente grado de exactitud. Los errores en las mediciones de los tiempos de viaje acentuarán el problema de asignar viajes a rutas para las que las diferencias de tiempos son mínimas.

Para superar algunas de estas dificultades se han mejorado las técnicas de asignación.

Una posibilidad consiste en utilizar zonas más pequeñas y redes más detalladas. Esto reduce los efectos de representar todos los

comienzos de viajes en el centroide de zona. También ayuda a compensar el efecto de las diferentes valoraciones de los costos, al reducir los tamaños de los grupos de personas considerados, resultando así los valores promedio más representativos. Un aumento del número de zonas y del tamaño de la red producirá un aumento de los costos de tratamiento de la información, lo que a veces resultará prohibitivo.

Se pueden introducir mejoras en el algoritmo, incluyendo también otros factores que intervengan en la elección de ruta, por ejemplo los cambios de dirección. Estos cambios se pueden medir como pérdidas de tiempo o de dinero para los conductores en cada cruce. Estas pérdidas de tiempo o de dinero se incluyen generalmente en la mayoría de los estudios realizados.

Se pueden hacer las asignaciones para distintos períodos del día, teniendo en cuenta la variación de las condiciones del tránsito a lo largo del día. Sin embargo, el problema del aumento de los costos del estudio obliga a realizar sólo dos asignaciones: una para las horas punta y otra para cualquier período fuera de las horas punta.

Otra mejora posible consiste en realizar las asignaciones por categorías de personas, lo que permite tener una idea más precisa del valor que cada individuo da a cada variable. Pero de nuevo el

excesivo costo puede obligar a hacer restricciones a la hora de establecer el modelo de transporte.

Un procedimiento de asignación mejorado que trata de resolver los problemas anteriores es el de asignación proporcional a varias rutas. Se tienen en cuenta una serie de rutas para cada par de zonas, y a cada una de las rutas se le asigna una cierta proporción del total de viajes entre las dos zonas. Un tipo muy simple de asignación proporcional es el que utiliza las curvas de diversificación.

### 3.- Asignación mediante curvas de diversificación.

La aplicación primitiva de los análisis de curvas de diversificación se concretó en la estimación de la proporción de tránsito que utilizaría una nueva vía, v.g., la proporción de tránsito que pasaría a utilizar una autopista en el estudio. En principio se supone que, para cualquier intercambio entre zonas, existen al menos dos rutas, que cada una de ellas tiene sus propias características de distancia, tiempo, velocidad y nivel de servicio, y que el conductor elige evaluando estas características.

Las curvas de diversificación son relaciones empíricas construidas a partir de los datos recogidos de encuestas sobre el uso de las distintas rutas, v.g., se puede estudiar el tiempo ahorrado en el desplazamiento por la ruta A comparado con el desplazamiento por

la ruta B, y también se pueden comparar las proporciones de usuarios que utilizan la ruta A o B. (Las curvas de diversificación también se pueden utilizar para determinar la proporción del uso del medio A comparada con la del uso del medio B en un análisis del uso de los distintos medios de transporte.)

Se han establecido curvas de diversificación utilizando las siguientes variables:

- 1) Tiempo de recorrido ahorrado.
- 2) Distancia ahorrada.
- 3) Razón entre tiempos de viaje.
- 4) Razón entre distancias de viaje.
- 5) Tiempo de recorrido y distancia ahorrados.
- 6) Razón entre distancias y velocidades.

Las curvas de diversificación (véase figura 6) son las más simples, ya que incluyen una única variable. Estas curvas pueden ser utilizadas en ciertas condiciones, v.g., cuando se considera el total de tránsito de paso en una pequeña ciudad, pero dejan de ser apropiadas al tratar situaciones un poco más complicadas.

El ejemplo siguiente servirá de aclaración a este procedimiento.

En la figura 7 se muestra el estado de la red; y las características de las mismas.

Primeramente se escogen los puntos donde divergen y convergen los tipos de vía considerados. En la tabla 1 se muestran las diferencias obtenidas usando el método de "todo o nada" antes descrito y el tiempo de recorrido de la curva de diversificación (figura 6) entre origen y destino o entre los puntos escogidos.

TABLA 1

Línea	Todo o Nada	Diversificación OD ( $\frac{11}{10} = 1.1$ )	Diversificación entre puntos escogidos $\frac{6}{5} = 1.2$
1-3	100	100	100
3-4	100	100	100
4-5	100	74	85
4-9	0	26	15
5-7	100	74	85
7-8	100	100	100
8-11	100	100	100
9-7	0	26	15
11-2	100	100	100



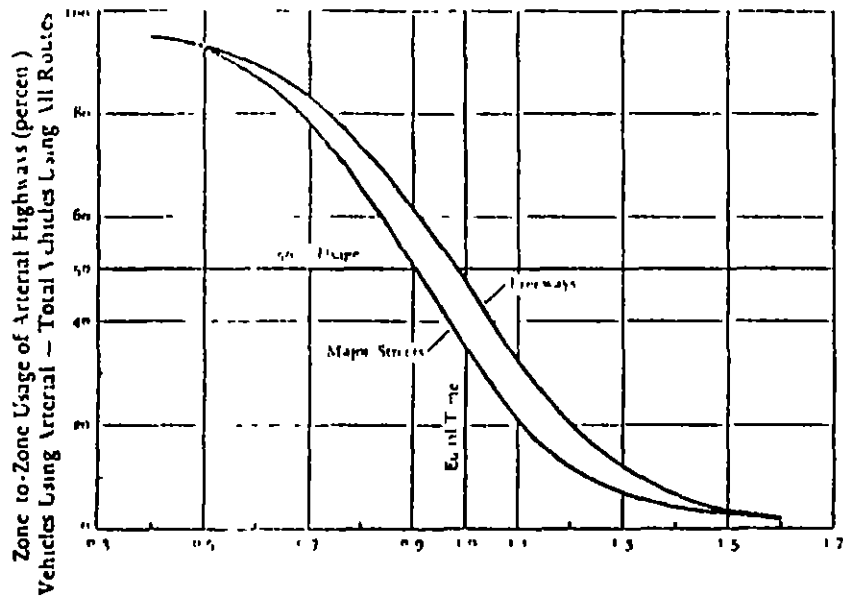


FIGURA NUMERO 6

En la figura 7 se muestra la arteria óptima y la mejor vía rápida con un tiempo de recorrido de 10 y 11 minutos respectivamente del origen 1 al destino 2; pasando cada cual por diferentes rutas. Los puntos escogidos son el 4 y el 7 con un tiempo mínimo de 5 y 6 minutos para la arteria y la vía rápida. La relación de tiempo entre el origen y destino es  $\frac{11}{10} = 1.1$ ; y entrando con esto en las abscisas da un valor en las ordenadas de 26% para la vía rápida (línea 4-9 y 9-7) y 74% para la arteria (4-5 y 5-7). Cuando la línea es para la arteria y la vía rápida, se asigna el 100% del viaje (línea 1-3, 3-4, 7-8, 8-11, 11-12). La relación entre los puntos escogidos es  $\frac{6}{5} = 1.2$ , y realizando la misma operación resulta un 15% de diversificación para la vía rápida y 85% para la arteria.

Posteriormente se introdujeron dos variables en los modelos de resistencia al viaje. Este fué el caso de las curvas de diversificación de California, que se basaban en la medida del tiempo de recorrido y de la distancia ahorrados, y proporcionaban una explicación algo más satisfactoria del modo en que los conductores eligen una ruta. Los principios en que se basaba el método de California son los siguientes:

1. Se ignoran otros factores que no sean tiempo o distancia.
2. El método se debe poder expresar matemáticamente.
3. A mayor ahorro de tiempo de viaje, mayor uso.

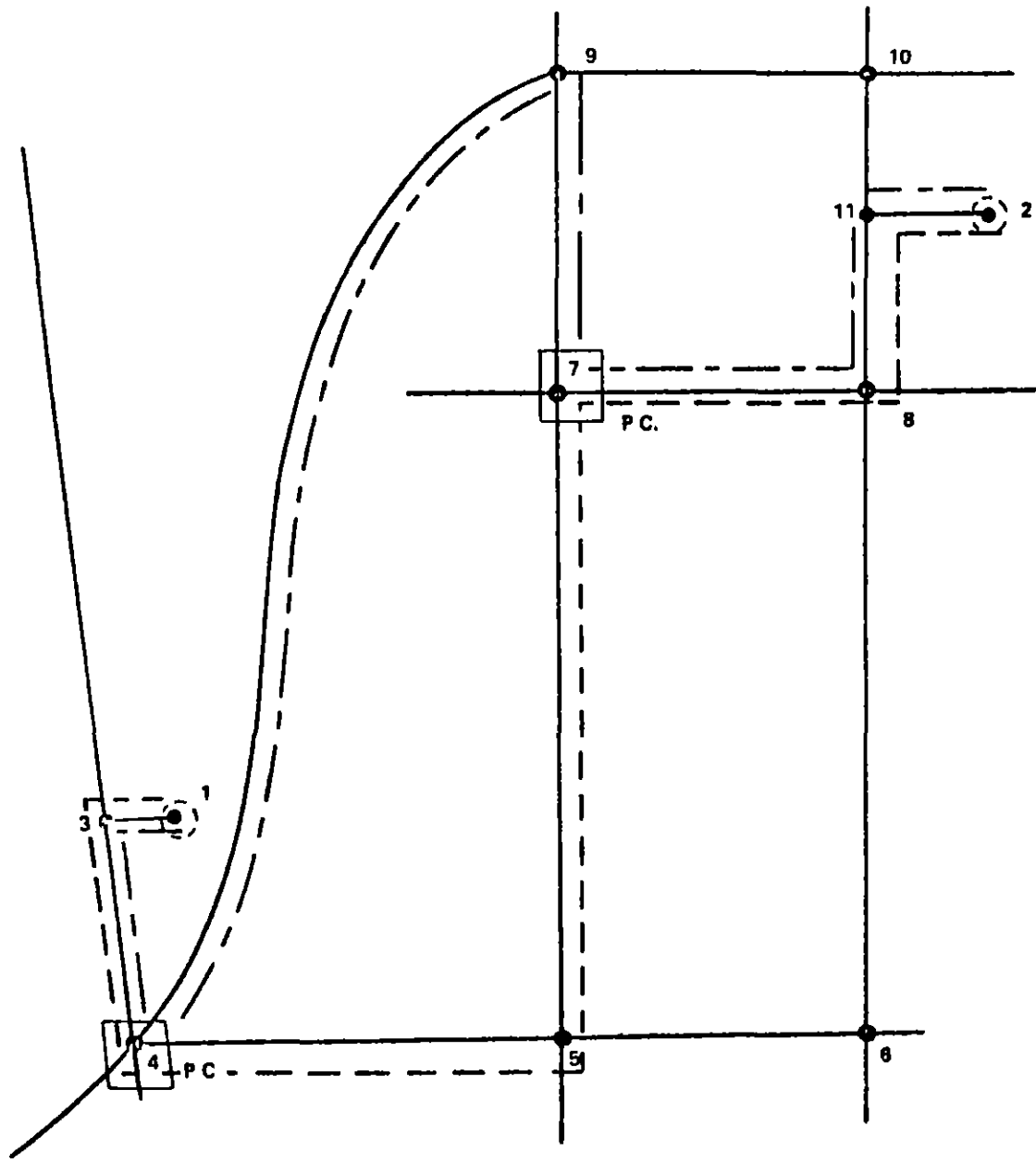


Figura 7

5. Cuando los ahorros de tiempo de recorrido y de distancia son pequeños, no todos los conductores utilizan las autopistas.
6. Unos conductores eligen un recorrido más largo si suponen un ahorro de tiempo, mientras que otros elegirán el recorrido más corto aunque tarde más tiempo en recorrerlo.

Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$P = 50 + \frac{50 (d + .5t)}{\sqrt{(d - .5t)^2 + 4.5}}$$
$$P = 40 + \frac{60 (d + .5t)}{\sqrt{(d - .5t)^2 + 8.0}}$$

$0 \leq P \leq 100$

Las figuras 8 y 9 nos dan los valores para cada una de las fórmulas antes indicadas.

Donde : P = El porcentaje asignado para la ruta de tiempo mínimo.

d = La distancia ahorrada en millas.

t = El tiempo ahorrado expresado en minutos.

El procedimiento general a usar es el siguiente.

- 1) Determinar la distancia entre dos puntos dados de la vía rápida (dvr) y de la ruta básica (d b )  $d = d b - dvr$ .
- 2) Determinar el tiempo de recorrido entre dos puntos tanto por

la vía rápida (  $T_v r$  ) y de la ruta básica (  $t_b$  )

$$t = t_b - t_{vr}$$

- 3) Se entra a las gráficas de las figuras 8 y 9 según sea el caso y se leerá "P" que es el porcentaje de viajes entre los puntos dados y que serán cruzados por la ruta rápida.
- 4) Multiplíquese "P" por el número de viajes entre los puntos dados. Asignando el número de viajes a la parte de la vía rápida adecuada, y se asignará por ende la ruta básica.
- 5) Cuando  $P < 50$  y  $L < 2.0$  millas, se tomará en cuenta la siguiente modificación:

$$P_1 = P + (P - 50) ( 1.5 - 0.75 L )$$

donde:

$P_1$  = Porcentaje de asignación modificado.

$P$  = Porcentaje de asignación original.

$L$  = Longitud de la vía rápida que se usará para el viaje, menos la longitud de la vía rápida que se usa paralela a la vía básica.

- 6) Cuando ambas terminan en una vía rápida, como en el caso de viajes cruzados, se toma el 100% de asignación a la vía rápida.

Con anterioridad en el punto 3, se habló de dos gráficas, la pr.

mera de ellas número (3) consiste en que el tiempo y distancia de las rutas comparadas es la misma (50/50). Por lo que asigna 50% a cada ruta, la segunda (Núm. 9) (40/60) asigna 40% al tiempo mínimo de la ruta correspondiente y 60% a la ruta básica (de la ciudad).

La primera asignación se usa en muchos estudios y la segunda en zonas donde existen bastantes vías rápidas.

Cuando se consideran tres rutas a estudiar se toman 50/50 para las rutas de la ciudad y 40/60 para las rutas nuevas.

Un ejemplo explicará mejor este procedimiento.

Dados: 40/60 de esta fórmula especificando un intercambio entre zonas de 1000 viajes, con las siguientes características.

	Calle Ciudad	Ruta Tipo Tiempo mínimo	Vía Rápida
Tiempo minutos	10.0	8.0	8.0
Distancia (millas)	5.0	4.5	6.0

Para la calle de la ciudad.

$$d = 5 - 4.5 = .5$$

$$t = 10 - 8 = 2$$

De la relación 40/60 en la figura que se obtiene 70% y el resto 30% se asigna a las calles de la ciudad.

(viajes) ( % )

$1000 \times 70 = 700$  viajes asignados en la ruta mínima.

$1000 \times 30 = 300$  viajes asignados en las calles de la ciudad.

Tiempo mínimo en la vía rápida.

$$d = 8 - 8 = 0$$

$$t = 4.5 - 6 = 1.5 \text{ (se pierden en esta vía rápida)}$$

de la relación 50/50 en la figura 8 se obtiene 20% asignado de la vía rápida y el 80% a la ruta tipo (viajes) x ( % )

$700 \times 20 = 140$  viajes asignados a la vía rápida.

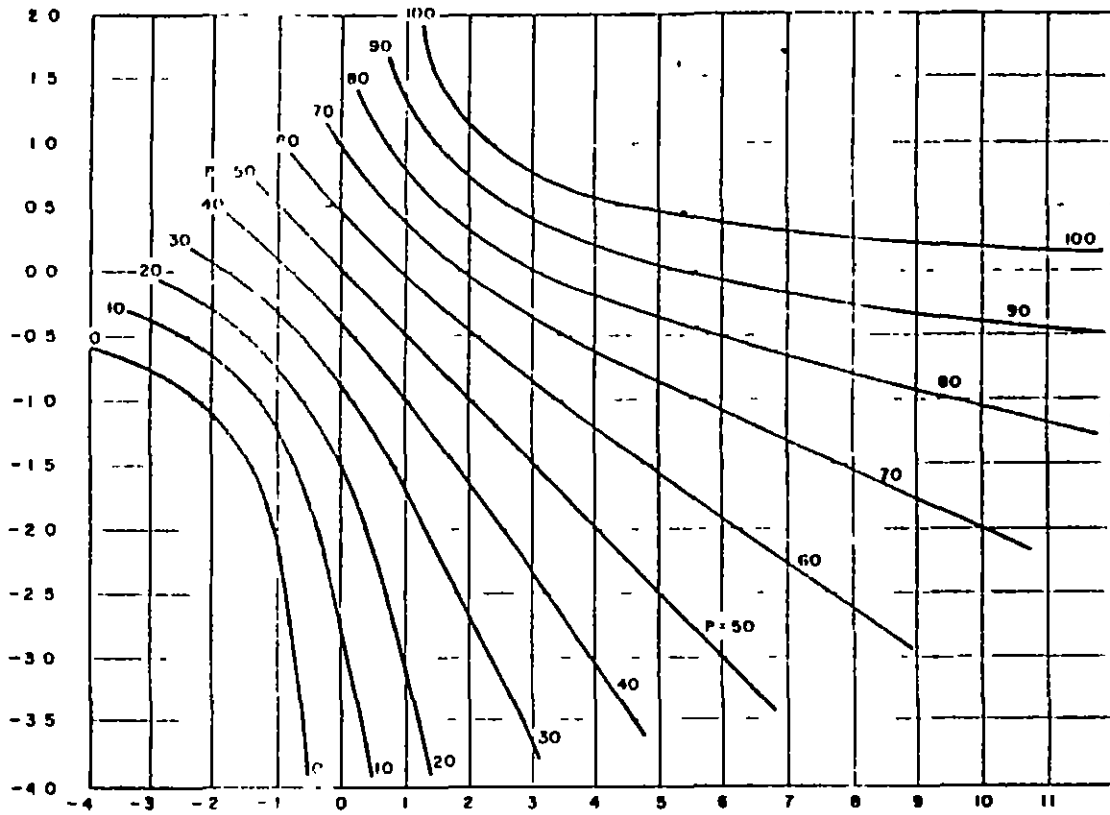
$700 \times 80 = 560$  viajes asignados a la ruta tipo como en una zona urbana es menester considerar varias rutas por analizar, resulta un tanto complicado el utilizar este método en forma manual, por lo que habrá necesidad de usar la computadora.

#### 4) Asignación Probabilística a varias rutas.

En un área urbana amplia se pueden elegir varias rutas para efectuar los desplazamientos entre cada par de zonas. La ruta más utilizada será probablemente la de costo mínimo o tiempo mínimo, pero se realizarán muchos viajes por rutas más largas o aparentemente más caras. Esto puede suceder por dos razones: primero, desco-

# CURVAS DE DIVERSIFICACION

D = Distancia ahorrada utilizando la vía de tiempo mínimo.  
mínimo.



T = Tiempo de viaje ahorrado en la vía de tiempo mínimo.

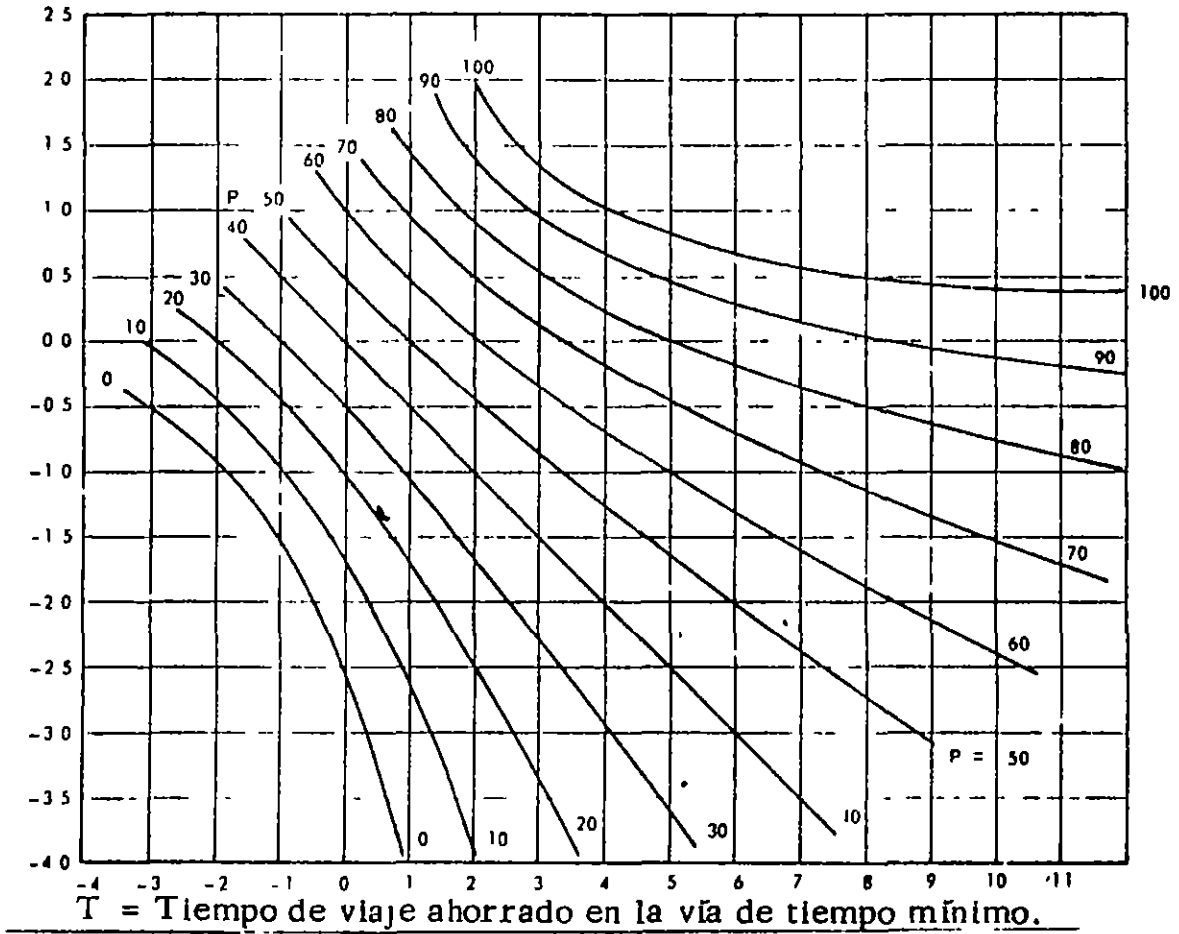
50/50 de asignación

Figura Número 8



## CURVAS DE DIVERSIFICACION

D = Distancia ahorrada utilizando la vía de tiempo mínimo.



40/60 de asignación.

Figura Número 9

nocimiento ( no todo el que viaja tiene suficientes elementos de juicio para decidir cuál es la ruta más conveniente), y segundo el efecto de la localización dentro de la zona ( en realidad los viajes comienzan desde diferentes puntos, y la ruta más apropiada desde el centroide de la zona no tiene por qué ser la más apropiada desde los demás puntos de la zona).

Cuando existe una serie de rutas, las curvas de diversificación - que utilizan sólo dos alternativas no nos proporcionan una asignación más exacta que la obtenida por el método de "todo o nada". El método de asignación proporcional a varias rutas intenta resolver este problema.

Burrell ha abordado el tema, y en su modelo se supone que el conductor no conoce los tiempos de recorrido de cada tramo, aunque asocia para cada tramo un tiempo supuesto. Este tiempo supuesto se elige al azar, de una tabla de distribución de tiempos que tiene como valor medio el tiempo que se emplea actualmente en recorrer el tramo, y como desviación media un 20 % de ese valor (se considera que el tiempo que se tarda actualmente en recorrer el tramo es la media de los valores obtenidos en las distintas mediciones realizadas en la etapa de recogida de datos). Se supone que el conductor selecciona y utiliza la ruta que minimiza el tiempo de recorrido.

Mas tarde se establece la hipótesis de que los tiempos supuestos para cada tramo permanecen constantes para todo tipo de viajes que se originen en una zona lo que implica la utilización de un método de asignación "todo o nada" para los viajes desde cualquier zona. Sin embargo, en la asignación de los viajes procedentes de zonas contiguas, que se realiza siguiendo el mismo método, se utilizan valores distintos a los supuestos. Este modelo de elección de ruta determina recorridos que, a menudo, son muy distintos de los obtenidos con el algoritmo del menor tiempo. Un desarrollo posterior de este modelo se basa en la división de los viajes desde una zona en varias partes iguales y en la construcción para cada una de ellas de un árbol de recorridos utilizando distintos supuestos de recorrido. Aunque este método necesita más tiempo de uso de ordenador, proporciona una simulación de la conducta en la elección de ruta mucho más exacta. Empleando estos métodos se pueden superar todas las objeciones que antes se hacían, salvo la última (inexactitud en la medida del tiempo de recorrido).

Puesto que este modelo supone un avance considerable sobre los métodos del tiempo mínimo y de las curvas de diversificación, pasaremos a describirlo con más detalle. En primer lugar se confecciona una tabla de tiempos para cada tramo, que tenga por valor medio el tiempo que actualmente se emplea en el recorrido del tramo.

ya que en la realidad, es mas posible que un individuo elija una ruta en la que haga 7 minutos existiendo otra que solo le tomaría 5, siendo esto un tiempo superior al mínimo en un 40 % .

Por otra parte, parece menos probable que un individuo elija una ruta en la que invierta 140 minutos para hacer un viaje en el que la ruta mínima supone 100 minutos.

La diferencia entre este modelo y otro en el que se pueden determinar rutas de tiempo mínimo es importante, y el siguiente ejemplo puede ayudarnos a ilustrar las principales diferencias. En la figura 10 las tres rutas más rápidas entre C y H son:

CDEH	100
CDFEH	110
CGH	115

Si la distribución de los viajes de C a H entre las tres rutas más rápidas se realiza mediante un modelo de asignación a varias rutas, cada una de las tres soportará una parte del tránsito pero según el procedimiento de elección al azar parece que la ilógica ruta CDFEH no será utilizada nunca. Este sería el caso, si, por ejemplo, los tiempos de recorrido actual fueran  $DE = DF = FE = 10$ , y se permitiera una variación máxima de un 20 % en cada tramo. El máximo tiempo supuesto para DE sería 12, y el mínimo para DF y FE, 8

siendo el tiempo total para DFE, 16. Con el procedimiento de selección al azar de los tiempos supuestos para cada tramo, la ruta DFE nunca será más rápida que la ruta DE.

Sin embargo, parece que el modelo puede elegir la ruta CGH, y esto conduce a la aparente paradoja de que alguna de las rutas elegidas - entre un par de puntos pueda ser más lenta que alguna de las rutas que no pueden ser elegidas. Probablemente sea ésta una situación - muy real. En el ejemplo no es probable que los conductores elijan la ruta CDFEH porque es claramente más larga que la CDEH. Por otra parte, está menos claro que la CGH sea más larga que las - otras rutas, y sin duda algunos conductores la elegirán

Hay dos puntos importantes en esta discusión. En primer lugar, el tiempo de la ruta seleccionada entre A y B excede a la más rápida en menos de una proporción fijada, y, en segundo lugar, el tiempo de la ruta seleccionada entre otros dos puntos C y D en menos de una proporción fijada.

Con la simple aplicación de este modelo, todos los viajes desde una zona asignados a la misma red siguen la misma ruta hasta un nudo determinado. Esto no significa que todos los viajes desde un nudo a otro utilicen siempre la misma ruta. Refiriéndonos de nuevo a la figura 10, todos los viajes entre A y J pueden utilizar la ruta ACGHJ,

y todos los viajes entre B y J la ruta BCDEHJ. Así, de entre los viajes de C a H, algunos utilizarán la ruta CGH y otros la CDEH. En una red más compleja puede haber varias rutas alternativas entre dos nudos que se encuentren muy separados, y el modelo de varias rutas puede asignar los viajes a cada una de ellas.

Se ha comprobado sobre una red actual el modelo descrito y los resultados han sido satisfactorios, y aunque parezca que la ruta seleccionada para cada viaje en particular es arbitraria, en el sentido de que viene determinada por el azar, las asignaciones totales de tránsito a cada tramo son más exactas que las que se obtienen mediante el método "todo o nada". Las asignaciones obtenidas con este modelo dependen de las hipótesis hechas sobre la máxima variación permitida ("grado de aleatoriedad"). La calibración del modelo de asignación a varias rutas y la confianza en sus resultados puede apoyarse en alguna encuesta especial sobre la elección de ruta por los conductores de vehículos.

Se pueden utilizar desarrollos posteriores de este modelo para elegir una serie de rutas alternativas para cada zona, así como para distribuir el número total de viajes originados en esa zona entre las rutas seleccionadas. Ya hemos visto que en condiciones normales los resultados de este método son mucho más fiables que los conseguidos por el método "todo o nada".

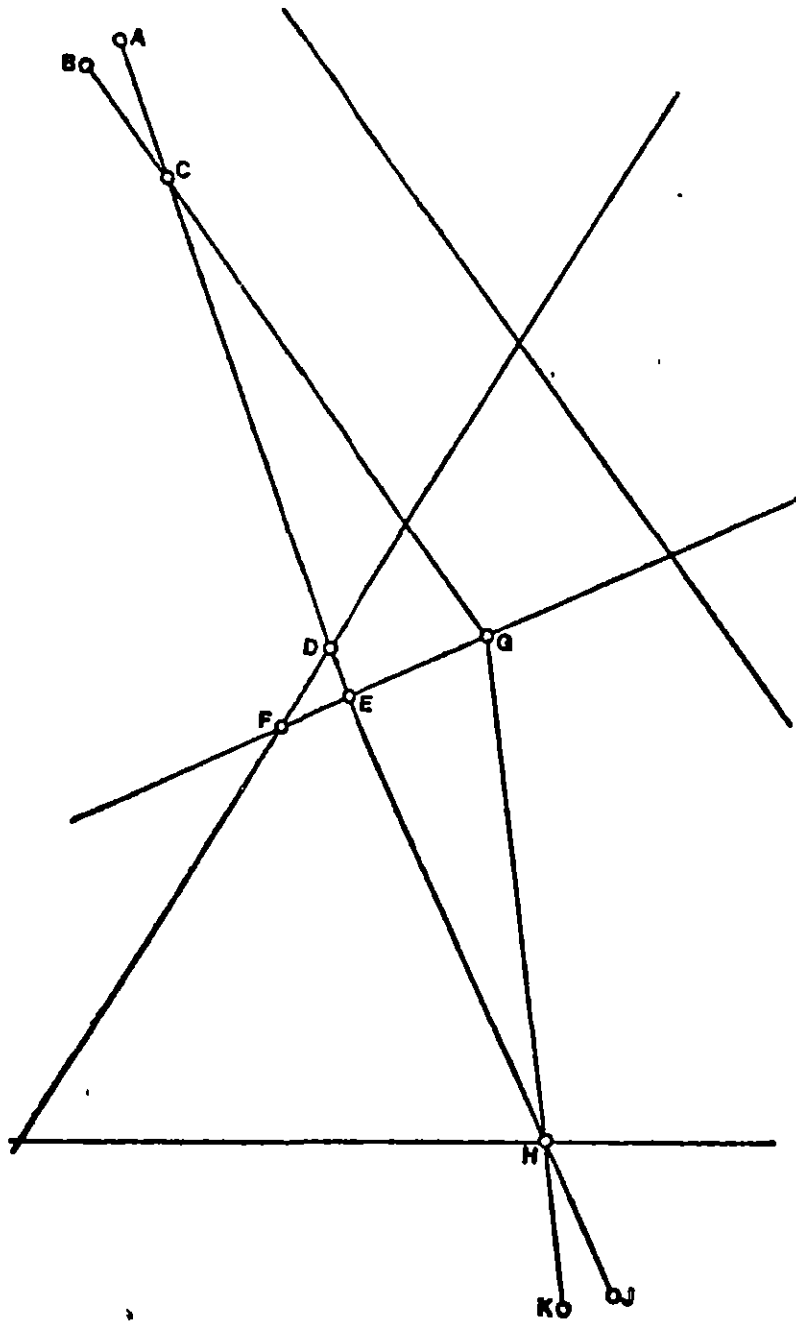
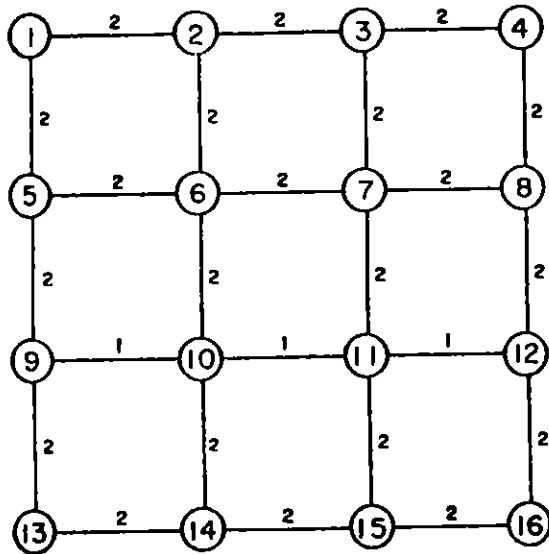


Figura 10.- Ejemplo de modelo de asignación a varias rutas.

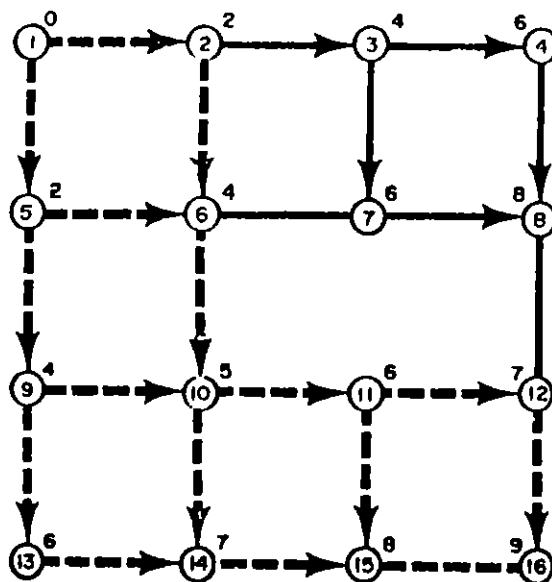
El ejemplo siguiente ilustrará mejor este método.



⊗ Número de Nodo

X Tiempo de viaje en la línea

La figura siguiente muestra las diferentes rutas a seguir.



x = Tiempo mínimo para cada nudo.

⊗ = Número de nudo.

--- = Arbol del nudo 1 al 16.



Los resultados obtenidos se indican en la tabla 2 donde se aplica la fórmula de Stoch para obtener los valores indicados en las columnas.

$$\text{Importancia de la línea } (i, j) = e^{\theta \Delta t}$$

Donde  $e$  = base de los logaritmos neperianos.

$\theta$  = parámetro de diversificación.

$\Delta t$  = diferencia entre el mínimo tiempo de la vía y el tiempo de la otra vía que se considera razonable.

El exponente  $\theta$  se toma como  $\frac{1}{t}$  donde se juntan dos rutas y  $\Delta t = 0$ .

El nudo 9 es alcanzado en 4 minutos y el 10 en 5 minutos, su diferencia de 9 a 10 es 1 minuto.

$$\therefore \Delta t = (5-4-1) = 0$$

El uso de la línea 9, 10 es

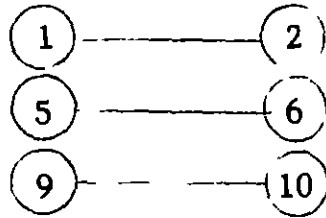
$$a(9, 10) = e^{\theta \Delta t} = e^{1(0)} = 1$$

El mismo cálculo para la línea 6 a 10.

$$\Delta t = (5-4-2) = -1$$

$$a(6, 10) = e^{1(-1)} = e^{-1} = \frac{1}{e} = .37$$

Y así se van determinando las columnas de la tabla 2 para obtener el peso de cada línea  $w(e)$ , la línea  $a(e)$  se multiplica por la suma de los pesos de las líneas que entran en los nudos cerrados.



La obtención del peso de la línea para la 6-10 es el siguiente:

El valor de (e) se multiplica por la suma de la línea 5-6 y 2-6 cuyo valor a (e) es de 37; el peso por ende será de  $.37 (1+1) = .74$  y el volúmen en la línea 15 - 16 será  $= 1000 \times \frac{.93}{1-.74+.93} = 348$ .

Y en la 12 - 16  $= 1000 \times \frac{1.74}{1.74 + 93} = 652$ .

Ya que:

Volúmen de viaje =  $\frac{(\text{total de viajes}) (\text{Peso de la línea})}{\text{Peso de las líneas que llegan al final.}}$

Tabla 2 Viajes de J - 16 = 1000

T A B L A 2

VIAJES DE J - 16 = 1000

Línea e		Ruta de		Líneas	Peso de	Volúmen
Nudo	Nudo	Tiempo	A t	Vecinas	la Línea	Línea
		Mínimo		a ( e )	w ( e )	x ( e )
1	2		0	1	1	208
1	5	X	0	1	1	792
2	3		0	1	1	0
2	6		0	1	1	208
5	6		0	1	1	209
5	9	X	0	1	1	583
3	4		0	1	1	0
3	7		0	1	1	0
6	7		0	1	2	0
6	10		- 1	0.37	0.74	417
9	10	X	0	1	1	564
9	13		0	1	1	19
10	11	X	0	1	1.74	892
10	14		0	1	1.74	89
4	8		0	1	1	0
7	8		0	1	3	0
13	14		- 1	0.37	0.37	19
11	12	x	0	1	1.74	652
11	15		0	1	1.74	240
12	8		- 1	0.37	0.64	0
12	16	X	0	1	1.74	652
14	15		- 1	0.37	78	108
15	16		- 1	0.37	.93	348

5) Estimación directa del tránsito.

Morton Schneider encargado de estudio del transporte en el área de Chicago, desarrolló un método corto de asignación del tránsito, en base a los tipos de calles que se tiene, las fórmulas obtenidas se basan en la relación existente entre volúmenes de tránsito y las facilidades que brindan las calles, como son:

- a) El tipo de facilidades existentes.
- b) Densidades de los destinos de los viajes.

Las ecuaciones de Schneider son las siguientes:

$$V_1 = \frac{e\bar{r}}{2 \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{r} + \frac{Z_2}{\bar{r}} (z_1 - z_3) \right)}$$

$$V_1 = Z_2 \frac{v_1}{r}$$

$$V_3 = V_2 Z_3 / (z_1 - z_3)$$

donde:

e = Densidad de viajes de destino  
viajes destino / milla cuadrada.

$\bar{r}$  = Promedio de la longitud de viaje.

$v_1$  = Volúmen en la vía rápida.

$v_2$  = Volúmen en las arterias.

$v_3$  = Volúmen en calles locales.

$Z_1 = E$

$Z_2$  Espaciamiento arteria en millas.

$Z_3$  Espaciamiento calles locales en millas.

El uso de estas ecuaciones se explica mejor con el siguiente ejemplo:

Se propone una área de las características siguientes:

$$e = 10,000$$

$$F = 6 \text{ millas}$$

$$z_1 = 5 \text{ millas}$$

$$z_2 = 1 \text{ milla}$$

$$z_3 = 1 \text{ milla}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_1 &= 10,000 \frac{(6)}{2} \left( \frac{1}{5} + \frac{1}{6} \right) (5 - .5) \\ &= \frac{60,000}{.808} = 74310 \text{ vehículos/ día.} \end{aligned}$$

$$V_2 = \frac{1}{6} (74310) = 12385 \text{ vehículos/día.}$$

$$V_3 = \frac{(.5)}{5-.5} (12385) = 1376 \text{ vehículos/día.}$$

Para considerar un espaciamento promedio se puede usar la siguiente fórmula.

$$Z = Z \frac{A}{l}$$

$Z$  = Espaciamento

$A$  = Area de la región

$l$  = longitud de facilidades en la región en millas/millas cuadradas.

Ahora una vez estudiado el método rápido de asignación de tránsito, se verá el efecto de la congestión sobre la asignación.

En virtud de que las técnicas de disminución de la capacidad se han desarrollado principalmente para ser aplicadas a redes de carreteras y calles.

Antes de examinar la influencia de los problemas de la distribución de tránsito en la asignación a las distintas rutas, debemos hablar sobre la corriente del tránsito. En muchos estudios referentes a los flujos de tránsito se ha partido del supuesto de que el volumen de tránsito que puede circular por un tramo de camino depende de una única variable: la velocidad. En consecuencia, se ha tratado de establecer la relación velocidad.

Estas relaciones velocidad/corriente se establecieron en primer lugar para autopistas no urbanas en las que la relación se obtenía entre la velocidad media alcanzada, el volumen de tránsito y la anchura media del tramo. "En esta relación se omiten los efectos de las pérdidas de tiempo en los cruces. En general, es mejor considerar las relaciones velocidad/corriente en dos situaciones: por una parte las relacionadas con las pérdidas de

tiempo en los cruces, y por otra parte las relacionadas con la velocidad media entre cruces. A menudo conviene expresar esta relación en términos de corriente/tiempo de recorrido, siendo el tiempo de recorrido ( $t_{AB}$ ) el tiempo empleado en recorrer el tramo. Podemos escribir entonces.

$$t_{AB} = X_{AB} + \frac{l_A}{r_A}$$

siendo:

$X_{AB}$  el tiempo de demora en los cruces.

$l_A$  longitud del tramo A

$r_A$  la velocidad media (descontando pérdidas de tiempo) en el tramo A.

Abordemos ahora el problema de las pérdidas de tiempo en los cruces ( $X_{AB}$ ). En primer lugar, podemos suponer que el total de tiempo empleado en detenciones depende del tipo del cruce, del área del mismo y del volúmen de tránsito que confluye en él. Se han realizado muchas investigaciones sobre la capacidad y el cálculo de las detenciones en los distintos tipos de cruces, lo que ha hecho posible calcular el promedio de tiempo de demora por vehículo para cada cruce de una red, cuando se conocen las corrientes. Es posible espaciar los cruces de tal manera que no se produzcan pérdidas de tiempo debidas a colas u oleadas de tránsito, sino que se limiten a las producidas por

el trayecto recorrido sobre los carriles de entrada y salida de las desviaciones. Estos carriles se pueden representar como tramos en el esquema de la red.

Las relaciones entre la velocidad media del tránsito (excluyendo las pérdidas de tiempo en los cruces) y el flujo han sido investigadas por el Road Research Laboratory y se han obtenido los siguientes resultados:

Vías en la zona central de la ciudad:

$$v = 31 - \frac{9 + 430}{3(w - a)} \quad 10 \quad v \quad 24$$

Otras vías urbanas:

$$v = 42 - \frac{9 + 1.000}{4(w - a)} \quad 20 \quad v \quad 35$$

Carreteras (no autopistas):

$$v = 54 - \frac{9 + 1.400}{6w} \quad 24 \quad v \quad 45$$

donde:

$v$  = velocidad media del tránsito (excluyendo pérdidas de tiempo en los cruces) en millas/hora.

$w$  = ancho de la calzada en pies.

$q$  = corriente en vehículos/hora.

$a$  = reducción práctica de la anchura de la calzada debida al aparcamiento de vehículos.

En teoría, con estas fórmulas es posible calcular tramos y cruces por separado, sin embargo, resulta muy complicado y costoso introducir -



estos análisis tan detallados en el estudio total de una red de transportes. Es mejor considerar los tiempos de recorrido para cada tramo, estableciendo ciertos márgenes para las posibles demoras a lo largo del tramo. Wardrop ha investigado recientemente este punto de vista. Se supone que la mayor parte de los cruces que producen paradas en un área urbana están controlados por semáforos autorregulados del tipo de los que responden al movimiento de vehículos. También se puede suponer que estas señales tienden a funcionar con un ciclo fijo en condiciones de congestión.

Los primeros trabajos han demostrado que la relación entre el inverso del tiempo de parada y la corriente es aproximadamente lineal para semáforos de tiempo fijo. Si se organiza un sistema de semáforos coordinados a lo largo de una ruta, es posible reducir el tiempo de cada una de las detenciones (excepto el de la primera), y por tanto es razonable suponer que las paradas de un tramo con semáforos coordinados están en relación con la corriente en la misma medida que si los semáforos no estuviesen coordinados. La fórmula de la relación velocidad/corriente puede derivarse de la fórmula:

$$v_R = a (1 - q/Q) = \text{velocidad del tránsito excluyendo paradas,}$$

y  $d = \frac{b}{(1 - q/X_s)}$  = detención de un cruce o en un semáforo coordinado, siendo  $X_s$  la capacidad absoluta de cruce.

Si hay  $f$  intersecciones o semáforos coordinados por milla y la velocidad de recorrido es  $v$  millas/hora, tenemos:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_R} + fd$$

o bien,

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{a(1 - a/Q)} + \frac{fb}{(1 - q/\lambda s)}$$

Cuando se calibró el modelo utilizando datos recogidos para Londres se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{31 - \frac{140}{w} - \frac{0.244 q}{w}} + \frac{f}{1.000 - \frac{6.8 q}{\lambda w}}$$

donde:

- $v$  = velocidad de recorrido (incluyendo detenciones) en millas/hora.
- $q$  = Corriente total en ambas direcciones.
- $f$  = Número de cruces controlados por milla.
- $X$  = Proporción de tiempo en verde efectivo en los semáforos de los cruces.
- $w$  = Ancho de la calzada en pies.

Esta relación velocidad/corriente (ver figura 11) es mucho más sofisticada y, en consecuencia, menos manejable que las anteriormente expuestas. Hasta el momento no tenemos noticia de que se haya utilizado

esta relación en ningún modelo de transporte; sin embargo, su uso futuro está más que justificado, especialmente si se combina con las técnicas de asignación discutidas en la sección 4 de este capítulo.

Thompson ha desarrollado otro tipo de relación velocidad/corriente que presenta claras ventajas de cálculo. Estima que en áreas urbanas complejas a las anteriores relaciones velocidad/corriente tienen poco sentido, ya que la corriente en un área debe calcularse en función de las características de las calles y de las del movimiento de vehículos que atraviesan el área, y no en función de los problemas planteados por un cruce en particular. Así, ha llegado a establecer relaciones para áreas extensas en las que la velocidad del tránsito que atraviesa el área se obtiene en función del volumen de tránsito del área. Hasta el momento se ha recogido un volumen limitado de información para establecer relaciones empíricas velocidad/corriente sobre determinadas áreas. Sin embargo, es posible introducir ciertos márgenes de variación correspondientes a las características de las calles de las distintas ciudades, de modo que se pueda aplicar la fórmula de modo general para determinar relaciones velocidad/corriente en función de la configuración de las calles en el área considerada.

ra introducir los efectos de la relación velocidad/corriente en

el modelo de proyección de tránsito es necesario utilizar un procedimiento iterativo. El primer paso en cualquier modelo de disminución de capacidad consiste en comparar la velocidad de recorrido - supuesto (input en la codificación de la red) con la velocidad que puede desarrollarse actualmente. Si se comprueban grandes diferencias es necesario realizar nuevas estimaciones para asegurarse al menos de la exactitud de los datos de entrada del modelo de transporte. El primer efecto de los cambios en las velocidades será alterar las rutas y, en consecuencia, la asignación, de tal modo que -

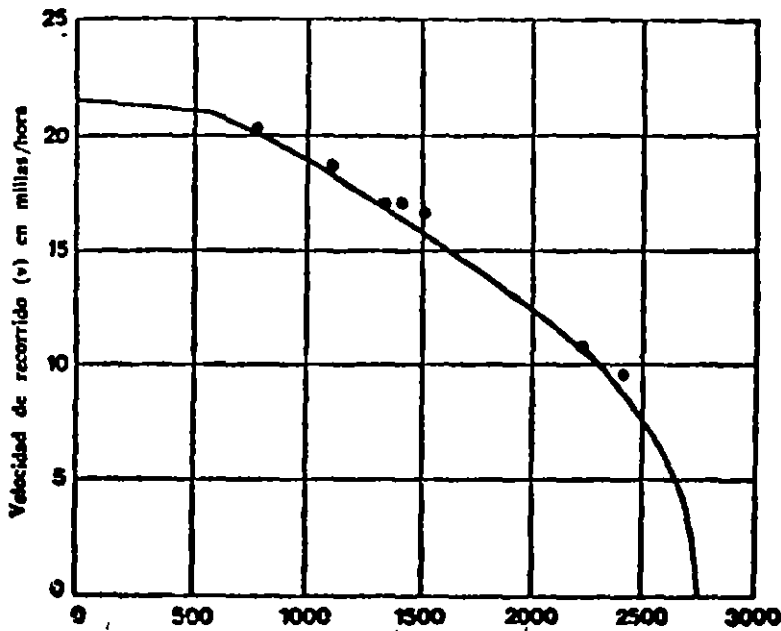


FIGURA NUMERO 11

Corriente (q) en vehículos/hora.

Curva de Wardrop' \_\_\_\_\_

valores observados en 1966 (Thompson)

Comparación de las relaciones entre velocidad de recorrido y corriente en el área central de Londres. Anchura media de

las vías: 12,80 metros.

Figura 12.- Relación velocidad de recorrido/corriente.

el tránsito de las áreas congestionadas se desviará hacia rutas menos directas pero de tránsito más fluido.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Traffic Engineering Handbook, Institute of Traffic Engineers  
1965.
- 2) Traffic Assignment; U.S. Department of Transportation Federal  
Highway Administration.
- 3) Trip Development and Network Analysis Handbook, State of -  
California, Division of Highways.
- 4) Planificación Analítica del Transporte, Robert Lane, Timothy  
Powell y Paul Prestwood Smith, Colección Nuevo Urbanismo,  
Madrid. 1973.

PLANIFICACION VIAL URBANA

ANALISIS DE BENEFICIO-COSTO Y PROGRAMACION

Ing Miguel Angel Nava Uriza

Enero de 1976

## CURSO "PLANIFICACION VIAL URBANA"

### Análisis de Beneficio-Costo y Programación

una vez realizada la asignación de tránsito a las diferentes partes que integran el sistema vial de un centro urbano, y comparado el volumen de -- tránsito resultante de dicha asignación con la capacidad correspondiente - a todas y cada una de las partes consideradas en el estudio, es necesario proceder a la realización de estudios económicos, cuyos resultados permitan determinar la factibilidad y conveniencia, desde el punto de vista - de la colectividad, de llevar a cabo la construcción de los proyectos que se deriven del análisis entre la oferta y la demanda de transporte.

Para ello, podrán efectuarse cálculos de la rentabilidad de la inversión, - mismos que en general, y para el caso de infraestructura vial, contemplan tres objetivos:

- Comparar entre sí los diversos proyectos, los cuales por sí solos -- constituyen un enlace.
- Proporcionar los elementos de comparación entre diversas operaciones carreteras independientes en el espacio, con el propósito de fijar entre ellas ordenes de urgencia relativos.
- Proporcionar elementos de comparación entre las operaciones carreteras y las inversiones de otra naturaleza y permitir así la fijación -- del monto relativo de recursos a afectar con cada tipo de inversión - (y en particular en las inversiones de carreteras).



Estos diferentes objetivos requieren la evaluación, para cada proyecto, de los costos que el mismo implica y los beneficios que él va a proporcionar.

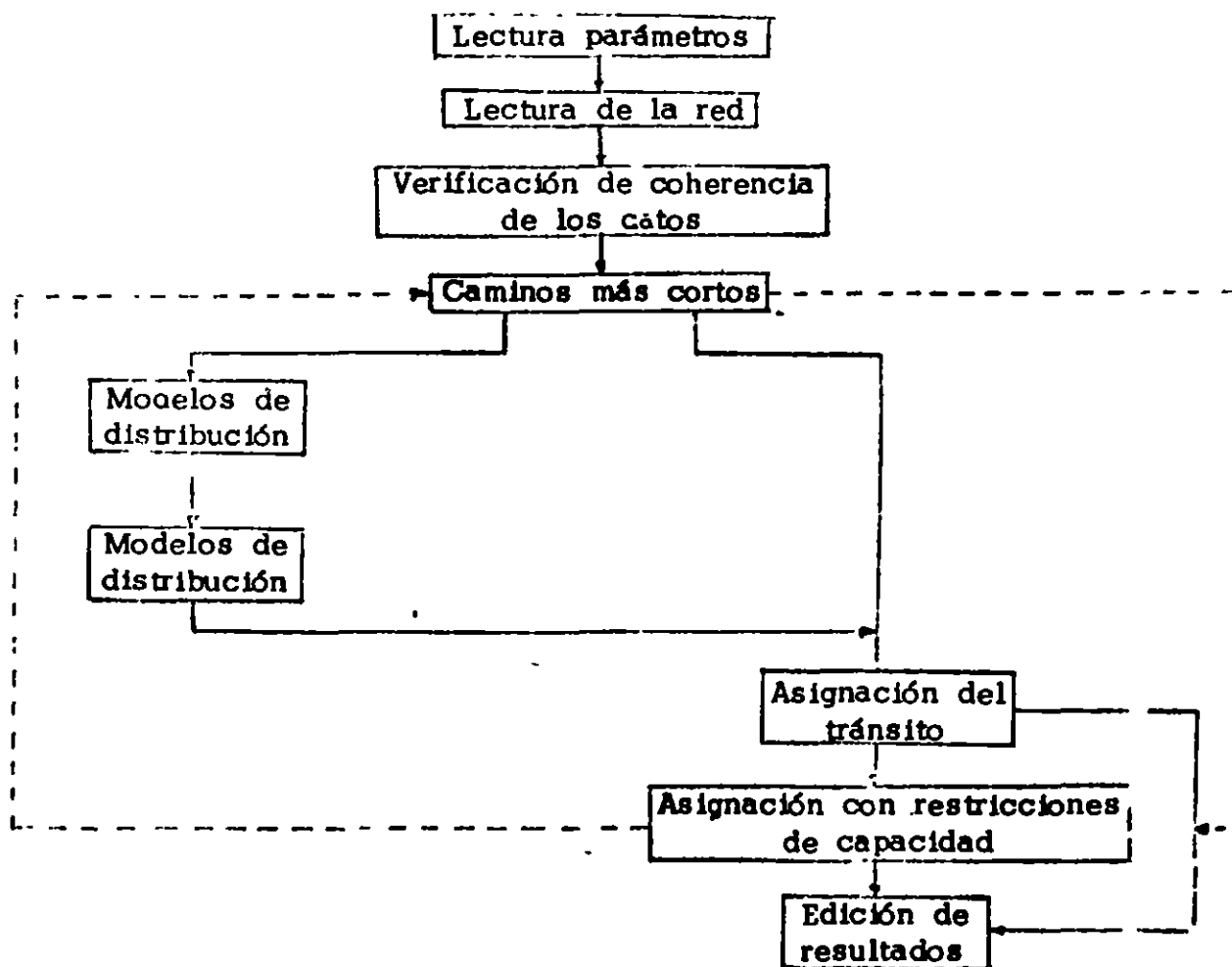
Sin embargo, antes de entrar propiamente a tratar lo relativo a los conceptos que intervienen en la evaluación, convendría mencionar la existencia de modelos traducidos a programas de computadora, que efectúan la asignación de tránsito a las partes integrantes de una red, en función de los costos de transporte y de tiempos de recorrido, es decir, que para los diferentes flujos determinados en función de sus orígenes y destinos, establecen los tramos que habrán de recorrerse para obtener un costo de transporte mínimo. Los resultados que se obtienen de un análisis de esta naturaleza constituyen un elemento valioso en cuanto que se conocerán las rutas que proporcionan mayores beneficios para la colectividad. Con ello, podrá efectuarse una selección y clasificación de proyectos de manera tal que permitan un desarrollo por etapas de la red que se plantea realizar, con la seguridad que las obras que se realicen formarán parte de aquellas que proporcionarán un costo de transporte mínimo; todo ello sujeto naturalmente a las disponibilidades de capacidad de las arterias ya realizadas y que forman parte de la red, así como de las disponibilidades financieras correspondientes.

Uno de los programas utilizados para este tipo de análisis comprende las siguientes etapas:

- 1) Lectura de parámetros y formación de ficheros.
- 2) Cálculo de tiempos de recorrido y costos iniciales en cada tramo de la red.

- 3) Verificación de la red y edición de errores.
- 4) Cálculo de los caminos más cortos.
- 5) Distribución de viajes según diferentes medios de transporte.
- 6) Asignación del tránsito en base a los tiempos y costos de recorridos sin tener en cuenta problemas de capacidad.
- 7) Asignación del tránsito teniendo en cuenta los problemas de capacidad.
- 8) Cálculo del balance en vehículos-km. y vehículos-horas y edición de resultados.

Forma esquemática de dicho proceso



Una vez hecho el comentario sobre el tipo de herramientas de que se dispone para el análisis y estudio de una red vial, a continuación nos referimos a los elementos que es necesario conocer para llevar a cabo la evaluación de proyectos.

#### Beneficios a los usuarios y beneficios indirectos

En cuanto a los beneficios, estos son de dos tipos:

- a) Los beneficios a los usuarios de una vía, los cuales se refieren al ahorro en tiempo, al mejoramiento del confort y de la seguridad, así como a las economías de los costos o gastos de operación de los vehículos. Estas cantidades son cuantificadas en unidades físicas (horas, número de muertos y de heridos, litros de combustibles, etc.) y traducidos enseguida en dinero por medio de valores unitarios correspondientes (precio del litro de los combustibles, de la hora, de un muerto, etc.).
- b) Los beneficios "indirectos" que son aquellos que no están asociados directamente al uso de la vía, sino que se traducen en el efecto -- más o menos favorable que puede tener la operación en cuestión en lo concerniente a la ordenación del territorio, la urbanización, la política de los transportes y, en forma más general, en el desarrollo económico nacional o local.

Estos beneficios son difícilmente susceptibles de una apreciación cuantificable; en particular, no es posible, hasta el momento, traducirlos en términos monetarios y compararlos con los beneficios directos mencionados. No

es menos necesario proporcionar todos los elementos de carácter cuantitativo que permitan apreciar su importancia. Es por ello, que un informe o presentación de un proyecto deberá proporcionar toda la información y las apreciaciones que puedan hacerse sobre las repercusiones previstas de la operación en cuanto al desarrollo económico de la zona por servir su impacto sobre el crecimiento o la creación de zonas habitacionales, zonas industriales, zonas turísticas, dentro del marco de las previsiones de la ordenación del territorio, todo ello evitando el doble empleo con los beneficios ya tomados en cuenta, y que se refieren directamente a los usuarios, los cuales se derivan de aspectos que de hecho ya existen en la carretera o vía (la plusvalía en propiedades, tiene principalmente una duplicidad con el ahorro de tiempo).

Los beneficios a los usuarios y los beneficios indirectos deben ser considerados de mejor manera posible. En particular, los beneficios a los usuarios que puedan ser cuantificados deberán ser objeto de dicho proceso de cálculo.

Base económica del análisis de los transportes.

La identificación y cuantificación de los beneficios que trae como consecuencia el establecimiento de una vía de comunicación y la implantación o mejoras de los medios de transporte no son fáciles de cuantificar, debido principalmente a factores subjetivos que con frecuencia intervienen en los problemas, tales como el confort, la valoración de los tiempos perdidos, y las implicaciones que tienen en el ámbito espacial el desarrollo social y económico.

Por otra parte, las proyecciones a largo plazo encierran un alto grado de incertidumbre derivado de las innovaciones tecnológicas, de las alternativas de crecimiento y de las políticas en materia de transporte. Por lo tanto, más que un simple análisis de costos y beneficios a partir de consideraciones inmediatas a la creación de los sistemas de transporte, hay que plantear una serie de alternativas tanto de la utilización y operación de los servicios creados, como de su impacto sobre los patrones de desarrollo.

El procedimiento más usado para tomar decisiones sobre inversiones de transportes es el del análisis de la relación beneficio-costos, o sea, bajo la tesis expuesta en párrafos anteriores, la optimización de una función económica diseñada con los datos del problema, en la cual los beneficios corresponden a las ventajas obtenidas por los usuarios del sistema proyectado más los obtenidos por la colectividad, y los costos incluyen las erogaciones directas en el proyecto y aquellas que afectan a los miembros de la propia comunidad. Lógicamente, para ser viable dicho proyecto el cociente de los beneficios entre los costos debe superar a la unidad.

Los beneficios directos son los que repercuten directamente sobre los usuarios del sistema de comunicaciones o aquellos que están en posibilidad de utilizarlo, así como en las empresas ocupadas de desplazar personas en el total o en parte del sistema. Para fines de análisis, estos beneficios pueden clasificarse de la forma siguiente:

1.- Beneficios por ahorro de tiempo. La mayoría de las personas desean-

emplear un mínimo de tiempo en sus desplazamientos para realizar --  
 otras actividades productivas o gozar de sus horas libres y, por lo --  
 tanto, le dan un determinado valor a su tiempo.

En nuestro caso, lo que interesa es el tiempo perdido, es decir, --  
 aquel que no se utiliza para desarrollar actividades de producción, --  
 descanso o esparcimiento.

2 - Beneficios por aumento en la seguridad y comodidad. Logicamente --  
 los individuos se benefician de las medidas que les signifiquen mayor  
 res probabilidades de no sufrir daños y evitar los factores desgradab  
 les en un viaje, como el congestionamiento y los trayectos en camin  
 os deteriorados entre otros.

3.- Ahorro en la operación de vehículos. Los beneficios están representad  
 dos por la disminución en los costos de operación, mantenimiento, --  
 combustibles y reparaciones.

Los beneficios indirectos son los obtenidos por los individuos y emp  
 resas que, sin hacer uso directamente del sistema, resultan favorecid  
 os por efectos del mismo, como pueden ser el aumento de la plusval  
 ía, el descongestionamiento de otras vías alternas, el aumento de --  
 producción o de ventas y, en general, todos aquellos aspectos positiv  
 os que repercuten en el ámbito del sistema en cuestión.

Los costos directos están definidos por todas aquellas erogaciones realizad  
 das en las fases previas del proyecto, en el momento de su realización y

por administración y mantenimiento una vez puesto en operación. Se pueden resaltar los siguientes:

- I) Derechos de vía: Corresponden a los costos de adquisición de la faja de terreno ocupada por el proyecto.
- II) Costos de construcción. Resultantes de la realización física del proyecto.
- III) Mantenimiento, administración y otros costos del capital.
- IV) Costos del interés sobre el capital. Se incluyen los derivados de todos los fondos invertidos, cualquiera que sea su origen.
- V) Riesgos y otros costos directos.

Los costos indirectos son los que afectan a otros individuos, empresas e instalaciones que no tienen relación directa con el proyecto, pero que de alguna manera resultan perjudicados, por ejemplo el aumento en el congestionamiento de otras áreas, la contaminación ambiental, la transformación en los usos del suelo no deseables, los efectos en la economía de otros sectores, etc.

#### Análisis Beneficio-Costo.

Conforme a algunas definiciones, el análisis beneficio-costo es una técnica de reunir y "medir" tan correctamente como sea posible, los efectos favorables y desfavorables de las políticas alternativas de transporte. Muchas de las proyecciones y estimaciones implicadas están sujetas a am--

plios márgenes de error; sin embargo, este tipo de análisis no debe ser juzgado en forma negativa por su posibilidad de error: su propósito es llevar a juicios, con más elementos de información que los que se son posibles siguiendo otro camino.

El análisis beneficio-costos, en sus diversas formas de empleo, busca siempre obtener como resultados los ya señalados, y es por ello que, independientemente de la forma a emplearlo, resulta conveniente señalar los elementos que en él participan.

Procedimientos de la cuantificación. Para poder establecer una comparación entre los beneficios y los costos de un proyecto, es menester que se interpreten bajo los mismos términos de medida. A menudo encontramos escalas de valor cuyas unidades no son comparables entre sí, sino que deben ser transformadas, como en el caso de un costo expresado en términos de valor monetario, comparado con un valor en unidades de tiempo; por consiguiente, habría que reducir a términos semejantes, ya sea el valor monetario expresado en tiempo, o bien el tiempo traducirlo a unidades monetarias. Casi siempre se adopta, para la comparación, la medida monetaria que es la universalmente empleada para valorar bienes y servicios.

Sin embargo, las transformaciones de unidades no son simples, puesto que intervienen medidas de valores individuales totalmente diferentes, según lo que cada sujeto esté dispuesto a pagar por un mismo servicio y lo que significa dentro de sus ingresos, resultando que no valora



en la misma forma un determinado servicio el rico que el pobre.

Para simplificar esta cuestión, es recomendable hacer una comparación de los resultados por muestreo a través de una medida representativa y los obtenidos por el valor económico potencial de, por ejemplo, el total de tiempo empleado por la comunidad en el transporte dividido entre el número total de desplazamientos realizados. De esta forma se tendrá una base de comparación de resultados y se adoptará aquel que convenga al objetivo del estudio.

Quantificación de costos directos e indirectos. En términos generales, los costos directos no representan mayor problema para su cuantificación, ya que pueden ser estimados de acuerdo con los precios del mercado en valores monetarios. En cambio, puesto que no siempre podemos cuantificar los costos indirectos relacionándolos con los supuestos valores en el mercado, se recurre a procedimientos y analogías que permitan conocer con cierta aproximación lo que los individuos o la colectividad, voluntaria o involuntariamente, estarían dispuestos a pagar en unidades monetarias, para evitar las causas que los lesionan, derivadas del proyecto estudiado.

#### Quantificación de Beneficios.

Los proyectos de mejoras del transporte deberán confrontarse con los sistemas actuales para obtener una escala de valores comparativa. De esta manera, el ahorro de tiempo probable, marcado por los estudios técnicos, estará apoyado en otras alternativas existentes.

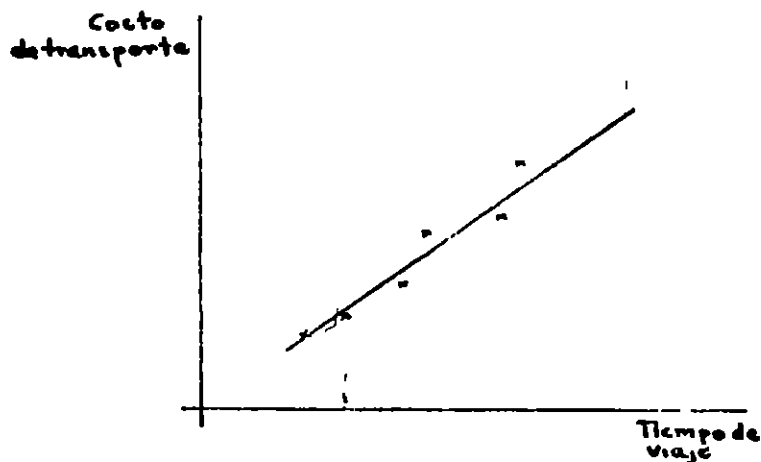
Para cuantificar el ahorro de tiempo existen los siguientes métodos:

### 1. Encuesta a los usuarios.

Con base en una muestra representativa de los probables usuarios, y mediante encuesta directa, se obtiene información sobre el valor que cada individuo asigna a su tiempo perdido.

Estratificando los probables usuarios del servicio, y a partir de sus respectivos ingresos, se calcula el valor del tiempo, teniendo en cuenta tanto el horario productivo como el de utilización del tiempo libre.

Experimentación. Dados dos medios de transportación idénticos, se correlaciona el costo del transporte con el tiempo empleado, y variando progresivamente uno de ellos en relación con el otro, se hacen análisis de los cambios de la demanda. La media dentro de un rango de experimentos, dará la pauta para obtener la valoración deseada.



El aumento en la comodidad para el viajero es uno de los aspectos más difíciles de cuantificar; sin embargo las personas tienden a pagar más si les presentan mejores condiciones de confort. Ello se ha observado cuando se introduce un nuevo vehículo más cómodo que opera en las mismas

condiciones de servicio, pero con tarifa mayor. Seguramente el método experimental, ya descrito, conduciría a establecer una unidad de valoración.

Por lo que concierne a la cuantificación de la seguridad, aunque entre los seres humanos se confiere un valor infinito a la vida, todos los individuos corremos ciertos riesgos en el transcurso de la existencia. Por lo tanto, una base para la cuantificación sería el de conocer precisamente qué probabilidades de riesgo entrarían en juego en el proyecto, comparándolo con los riesgos actuales en condiciones similares, y relacionarlos de alguna manera con la máxima cantidad que el usuario podría pagar por cambiar de un sistema a otro.

#### Definición de Alternativas.

Una decisión relativa a una inversión, ya sea en el sector público o en el privado, se orienta hacia la preferencia por la mejor solución. Sin embargo, la solución de un problema no es única, sino que generalmente existen varias alternativas que deben formarse en cuenta.

Las alternativas por definir y analizar serán todas aquellas proposiciones que tiendan a alcanzar las metas deseadas. En teoría, existirá una variedad infinita de ellas, puesto que son el resultado de un juego múltiple de variables. Para abreviar esta elección únicamente se tomarán en cuenta las que se diferencien sustancialmente, procediendo a jerarquizarlas mediante las ventajas y desventajas que representen en la relación beneficio-costos.

Debe tenerse presente que los recursos económicos por lo común son inferiores a las necesidades por satisfacer, por lo tanto al usarlos se pretenden obtener las mayores utilidades.

### Evaluación de Alternativas.

La elección de una de las alternativas viables, según un análisis de beneficio-costos, será aquella con índice superior derivado del total de beneficios estimados en valor monetario, entre el total de gastos, incluyendo las condiciones de financiamiento y del valor actualizado. Sin embargo, en la toma de decisiones, especialmente en el sector público, intervienen una serie de restricciones y condicionamientos socioeconómicos y político administrativos, que introducen en nuestra relación juicios de valor que deben ser ponderados de acuerdo con los objetivos del propio sector.

El organismo gubernamental tiende a maximizar los beneficios de la colectividad, en contraposición de las personas y de los promotores empresariales que tienden a maximizar sus utilidades. Dentro de este juego de fuerzas será seleccionada una alternativa que, sin ser necesariamente la mejor en cuanto a la relación beneficio-costos, mejore la situación existente sin romper la estabilidad social.

Por tal motivo los estudios de beneficio-costos se contemplan como una herramienta útil en la toma de decisiones, y siempre será mejor tomar una decisión apoyada en alternativas calificadas bajo determinados elementos de juicio.

Todas estas consideraciones tienen sentido en tanto se les pueda  
a un plan global de transportes. En este ámbito específico es donde  
surgirían más convenientes tales ideas.

#### Criterios sociales de evaluación.

La comparación entre costos y beneficios debe comprender todo el período  
de utilización de la obra; este período corresponde a la vida útil, la cual  
está limitada a la vez por factores físicos y por la obsolescencia. Ade-  
más, la incidencia de costos o beneficios que intervienen en una fecha -  
lejana queda considerablemente reducida por el efecto de la tasa de actua-  
lización, por lo que este período rara vez se toma mayor a 20 ó 25 años.

Los costos comprenden la inversión inicial, los gastos de conservación y  
administración. En la inversión inicial, por lo general, se incluyen los -  
gastos de ejecución, de estudios y proyectos y de vigilancia y supervisión.  
Conviene hacer notar, que en ocasiones se considera como beneficio la di-  
ferencia entre gastos de conservación antes y después de un mejoramiento  
(diferencia que puede ser positiva o negativa), lo que conduce a no consi-  
derar los gastos de conservación como costos en la comparación.

Los principales criterios utilizados para evaluar proyectos viales son los -  
siguientes, en los cuales se utilizará la simbología que se indica a conti-  
nuación:

I = inversión inicial

b<sub>i</sub> = beneficio en el año i.

- $C_i$  = suma de gastos en el año  $i$ .  
 $B$  = suma de beneficios actualizados al año cero.  
 $C$  = suma de costos actualizados al año cero.

a) Relación Beneficios-Costos.

La relación beneficios-costos es el cociente de la suma de beneficios actualizados entre la suma de costos actualizados. Para que la inversión sea atractiva, el valor de este cociente deberá ser mayor que la unidad.

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1+a)^i}$$

$$C = I + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+a)^i}$$

b) Beneficio neto actualizado.

Este indicador se obtiene restándole a la suma de beneficios actualizados, la suma de costos actualizados. Para que se atraiga la inversión esta diferencia deberá ser mayor que cero.

$$BNo = B - C$$

c) La tasa interna de rendimiento o de retorno.

La tasa interna de retorno es la tasa con la que se tendrían que actualizar los flujos de beneficios y de gastos, de manera que el beneficio neto actualizado sea cero. Su valor se obtiene resolviendo la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1+r)^i} = I + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

El valor de  $r$  que hace que se cumpla la igualdad es la tasa interna de retorno. Se calcula por aproximaciones sucesivas. El valor de esta tasa tendrá que ser mayor que la tasa de actualización para que la inversión sea atractiva.

d) Coeficiente de rentabilidad.

El coeficiente de rentabilidad de la inversión en el año  $i$  es el cociente  $\frac{b_i}{c}$ . El año  $i$  de referencia considerado es generalmente el primer año de puesta en servicio; por consiguiente, a la relación se le llama coeficiente de rentabilidad inmediata.

La importancia de este coeficiente radica en el hecho de que permite determinar el año óptimo de puesta en servicio, de una obra. El año óptimo de puesta en servicio, o sea aquel, que hace que el beneficio neto actualizado sea máximo, corresponde al año en el cual el coeficiente de rentabilidad de la inversión es mayor o igual a la tasa de actualización.

$$\frac{b_i}{c} \geq a \implies i = \text{año óptimo de puesta en servicio.}$$

En relación con la fecha óptima de puesta en servicio, puede tenerse el siguiente planteamiento:

$$\text{Es el año para el cual se tiene: } B(t_o) = K \times a \times C$$

en donde  $k$  es un coeficiente por restricciones de financiamiento

Una manera práctica de calcular dicho año es calculando los beneficios anuales para años espaciados (cada 5 años) y se interpola entre los dos años entre los cuales los beneficios comprenden el valor  $k \cdot a \cdot C$

En forma más precisas, se calcularía por ejemplo  $B_{70}$ , después  $B_{75}$  después  $B_{80}$ , etc. de 5 en 5 años, y se pararían los cálculos después de que se obtenga un valor de beneficios anuales superior a  $k \cdot a \cdot C$ ; posteriormente se interpola entre este valor y el valor precedente. Se podría, en ciertos casos reducir el cálculo suprimiendo el correspondiente al primer año, es decir  $B_{70}$  en el caso del ejemplo, pero ello solo sería posible si es evidente a priori que la puesta en servicio deba ser más allá de 1970; asimismo, no se calcularía  $B_{75}$  si es evidente a priori que la puesta en servicio deba ser más allá de 1980.

**Ejemplo:**

- Sea una rectificación que cueste \$ 1.2 millones, y que corresponde a un tramo de carretera que soporta en 1970 un tránsito de 4000 vehículos por día. La fecha de puesta en servicio de la operación es aquella para la cual el beneficio es igual a:

$$1.2 \times 0.10 \times 1\,200\,000 = \$ 144\,000$$

Para determinar la fecha, se calcularían los beneficios en los años 1970, 1975, etc. hasta que se encuentre una cifra superior a \$144 000.

El cálculo de los beneficios se haría conforme se ha señalado; para el ejemplo, los valores correspondientes serían:



Año	Tránsito veh/día	Beneficios (\$)
1970	4000	96 000
1975	5200	156 000

El cálculo se detiene en 1975, puesto que el beneficio en ese año es superior a los \$ 144 000.

Por interpolación se obtiene el año to de puesta en servicio, mismo - que verifica la relación siguiente:

$$\frac{t_0 - 1970}{1975 - 1970} = \frac{144\,000 - B(70)}{B(75) - B(70)} = \frac{144\,000 - 96\,000}{156\,000 - 96\,000}$$

$$\therefore t_0 = 1974$$

e) Período de recuperación del capital.

Es el año en el cual la suma de beneficios hasta ese año actualizados al año cero iguala a la suma de costos hasta el mismo año actualizados también al año cero.

f) Costo anual de transporte.

Este indicador que puede utilizarse principalmente para comparar alternativas del mismo proyecto, está definido como la suma de la anualidad de la amortización de la inversión, gastos anuales de conservación, administración, accidentes y operación de los vehículos.

Resulta interesante presentar los cálculos bajo la forma de balances - de rentabilidad, o sea, tablas en donde aparecen año por año los gastos, los beneficios y los totales acumulados de estos gastos y beneficios actualizados.

Ejemplos que ilustran el empleo de los criterios señalados:

- 1) Sea una inversión que provoca una serie de costos y beneficios como se muestra a continuación:

	Año 0	Año 1	Año 2
Costos	100	50	70
Beneficios	-	40	250

Consideremos una tasa de actualización  $a = 10\%$

$$C = 100 + \frac{50}{(1.1)} + \frac{70}{(1.1)^2} = 100 + 45.45 + 57.85 = 203.30$$

$$B = \frac{40}{(1.1)} + \frac{250}{(1.1)^2} = 36.36 + 206.61 = 242.97$$

$$B_{No} = 242.97 - 203.30 = \underline{\underline{39.67}}$$

$$B/C = \frac{242.97}{203.30} = \underline{\underline{1.19}}$$

y la tasa interna de rendimiento será:

$$100 + \frac{50}{(1+r)} + \frac{70}{(1+r)^2} = \frac{40}{(1+r)} + \frac{250}{(1+r)^2}$$

$$\frac{100 (1+r)^2 + 50 (1+r) + 70}{(1+r)^2} = \frac{40 (1+r) + 250}{(1+r)^2}$$

$$100 + 200r + 100r^2 + 50 + 50r + 70 = 40 + 40r + 250$$

$$100r^2 + 250r + 220 = 40r + 290$$

$$100r^2 + 210r - 70 = 0, \quad 10r^2 + 21r - 7 = 0$$

$$r = \frac{-21 \pm \sqrt{441 + 280}}{20} = \frac{-21 \pm 26.8}{20}$$

$$r_1 = \frac{5.8}{20} = 0.29 \text{ (29\%)} \quad r_2 = \frac{-47.8}{20} = -2.39 \text{ (no tiene sentido económico).}$$

$$r = \underline{\underline{29\%}}$$

Sin embargo, otra persona con los mismos datos podría formar el siguiente flujo:

	Año 0	Año 1	Año 2
Costos	100	0	0
Beneficios	-	-10	180

$$C = 100$$

$$B = -\frac{10}{(1.1)} + \frac{180}{(1.1)^2} = -9.09 + 148.76 = 139.67$$

$$B_{No} = 139.67 - 100 = \underline{\underline{39.67}}$$

$$B/c = \frac{139.67}{100} = \underline{\underline{1.40}}$$

$$100 = \frac{-10}{(1+r)} + \frac{180}{(1+r)^2} = \frac{-10(1+r) + 180}{(1+r)^2}$$

$$100 = -\frac{10}{(1+r)} + \frac{180}{(1+r)^2} = \frac{-10(1+r) + 180}{(1+r)^2}$$

$$100 + 200r + 100r^2 = -10 - 10r + 180$$

$$100r^2 + 210r - 70 = 0$$

Que es la misma expresión del caso anterior, por lo que:

$$\underline{r = 29\%}$$

En este segundo caso hemos obtenido una relación beneficios-Costos mayor a la del caso anterior, siendo que se refieren a la misma inversión; sin embargo, el valor del beneficio neto actualizado en los dos casos es el mismo, así como el valor de la tasa interna de rendimiento.

De lo anterior se puede concluir, que la relación beneficios-costos es útil para determinar si una inversión es o no buena, pero para la determinación de prioridades es más conveniente utilizar el beneficio neto actualizado. En cuanto a la tasa interna de retorno, se puede afirmar que también es buen indicador para establecer prioridades, pero tiene la desventaja de que para algunos flujos no se obtienen valores reales de esa tasa y para otros se pueden obtener varios valores solución, razón por la cual no siempre es útil su uso.

2) Sean 2 alternativas A y B para trazar una ruta entre dos puntos. La primera de ellas tiene mayores pendientes y mayores grados de curvatura ya que se apega más al terreno, pero los costos de operación serán elevados así como los de conservación, mientras que la alternativa B tiene mejores especificaciones por lo que su costo será más elevado; sin embargo, los gastos anuales de conservación y operación serán inferiores a los de la alternativa A.

	Alternativa A	Alternativa B
Inversión	1 000	2 000
Gastos anuales de conservación	100	80
Gastos anuales de operación	300	160

Transformaremos la inversión inicial en un flujo anual equivalente, mediante la utilización del factor de recuperación del capital, considerando una vida útil de 20 años.

Para  $n = 20$  e  $i = 10\%$  el f.r.c. es 0.11746

$$I_A = 1\,000 \times 0.11746 = 117.46$$

$$I_B = 2\,000 \times 0.11746 = 234.92$$

Gastos anuales equivalentes.

$$\text{Alternativa A. } 117.46 + 100 + 300 = 517.46$$

$$\text{Alternativa B: } 234.92 + 80 + 160 = 474.92$$

De lo anterior se puede deducir que a pesar de que la alternativa B requiere de una inversión igual al doble de la alternativa A, resulta una solución -- más económica. Este mismo procedimiento puede utilizarse para determinar el tipo de material más conveniente para la carpeta de una vía, concreto o asfalto, o para determinar, si un camino debe pavimentarse o dejarse hasta una etapa de terracería o revestido. Naturalmente que este procedimiento es equivalente al de obtener el valor actual de los gastos de las distintas alternativas.

Ejemplo:

Considérense dos ciudades A y B, las cuales están ligadas por un camino pavimentado de 100 km., en el cual los automóviles circulan a una velocidad media de 70 km/hr., los autobuses a 65 km/hr. y los camiones a 60 km/hr. El tránsito actual es de 2 500 vehículos por día, de los cuales el 50% corresponde a automóviles, el 15% a autobuses y el 35% restante a camiones.

Se pretende estudiar un proyecto carretero entre los mismos puntos A y B - con mejores especificaciones y más corto, con objeto de disminuir los costos de transporte. De acuerdo al proyecto, los automóviles podrán circu--lar por este camino a una velocidad media de 90 km/hr., los autobuses a - 85 km/hr. y los camiones a 70 km/hr. La longitud de este camino será de 70 km. y se espera que aproximadamente el 40% del tránsito se podrá des-viar del camino antiguo al propuesto (dato obtenido con ayuda de estudios- de origen y destino).

El tránsito en el camino actual está creciendo a una tasa del 8% anual y se espera que se mantenga hasta el primer año de operación de la obra, a par- tir del cual se esperan incrementos del 10%, 12%, 13%, 11%, 9% hasta vol- verse a estabilizar a 8% anual.

El costo horario por vehículo y operadores se ha estimado en \$ 6.15 para - automóviles, \$ 32.97 para autobuses y \$ 32.97 para camiones y el costo - de tracción por vehículo-kilómetro se ha estimado en \$ 0.30 para automóvi- les, \$ 0.54 para autobuses y \$ 0.73 para camiones.

Los costos considerados son los siguientes:

Inversión	\$ 1 000 000/km. a realizar en dos años, - en el primer año 40% y en el segundo 60%.
Conservación	\$ 20 000/km/año.
Reconstrucción al año 9	\$ 90 000/km.
Reconstrucción al año 16	\$ 150 000/km.

Obtener la relación beneficios-costos del proyecto, considerando como ventajas los ahorros en tiempo de recorrido y los ahorros en tracción por menor longitud, que tendrán los usuarios durante un horizonte económico de 20 años de operación y considerando una tasa de actualización del 12% - anual.

Cálculo del ahorro unitario.

Con base en los ahorros que proporciona el proyecto en lo relativo a tiempo de recorrido y longitud, así como en los costos horario y de tracción - y la composición del tránsito, se determina el ahorro unitario anual, integrado por el ahorro unitario anual por tiempo y el correspondiente por costos de tracción.

$$\text{Ahorro unitario anual} = \$ 10\,174.00$$

Proyección del tránsito y beneficios (en miles de pesos)

Año	Factor	Tránsito	Beneficios
0	1.00	1000	- año de estudio
1	1.08	1080	-
2	1.08	1166	- } Etapa de construcción
3	1.08	1259	12 809 ⇒ Primer año de operación
4	1.10	1385	14 090
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
22	1.08	6226	63 343

or lo que se refiere a costos se tendrá:

Inversión \$1 000 000/km. x 70 km. = \$ 70 000 000

Año 1 28 000 000 (40%)

Año 2 42 000 000 (60%)

Conservación anual \$ 20 000 x 70 = \$ 1 400 000

Reconstrucción al año 9 \$ 90 000 x 70 = \$ 6 300 000

Reconstrucción al año 16 \$ 150 000 x 70 = \$10 500 000

Determinación de la relación beneficios-costos  
(miles de pesos)

Año	Factor act.	Beneficios	Beneficios Act.	Costos	Costos Act.
0	1.00	-	-	28 000	0
1	1.12	-	-	28 000	25 000
2	1.25	-	-	42 000	33 600
3	1.40	12 809	9 149	1 400	1 000
4	1.57	14 090	8 974	1 400	892
...	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
11	3.48	27 171	7 807	6 300	1 810
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
18	7.69	46 566	6 055	10 500	1 365
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
22	12.10	63 343	5 235	1 400	115
<b>Sumas</b>			<b>147 701</b>		<b>68 534</b>



$$\text{Relación beneficios-costos} = \frac{147\ 701}{68\ 534} = 2.15 \quad (\text{mayor que } 1)$$

De lo anterior se deduce que la obra es conveniente, ya que la relación es mayor que la unidad; sin embargo, deberá compararse con otras obras para saber su orden de prioridad.

$$\text{Beneficio neto actualizado} = 147\ 701\ 000 - 68\ 534\ 000 = \$ 79\ 167\ 000$$

Por tanteos puede calcularse la tasa interna de retorno, variando la tasa de actualización hasta igualar la suma de beneficios actualizados con la suma de costos actualizados.

#### Establecimiento de un programa de obras viales.

La preparación de un programa comprende sucesivamente, el establecimiento de una lista de proyectos considerados, que cubran las necesidades de la zona, región o centro urbano para un cierto período y el ordenamiento de los mismos de acuerdo a su prioridad.

La forma de establecer esa lista puede ser como se indica a continuación:

- De un análisis de la red existente, haciendo notar sus faltas e insuficiencias ante las necesidades actuales y futuras de circulación. Para este efecto se puede utilizar por ejemplo el método de los coeficientes de satisfacción a las necesidades.
- De un análisis de necesidades de nuevas obras, en el marco de los planes o perspectivas de desarrollo.

En esta lista se hará una selección previa mediante el análisis económico, entre los proyectos incompatibles o sea, aquellos que constituyen variantes de un mismo proyecto. Lo primero que se puede efectuar para establecer el programa, es conservar en él todos los proyectos con beneficio positivo, o sea aquellos para los cuales el beneficio neto actualizado B-C es positivo o lo que es lo mismo, aquellos cuya tasa interna de retorno es mayor a la tasa de actualización.

De hecho, la disponibilidad de capitales no permite, en general, conservar todos los proyectos seleccionados dentro del marco de un programa a mediano plazo; razón por la cual el problema consiste entonces en seleccionar una parte de los proyectos y colocarlos en ciertas fechas, de manera que:

- La suma de las inversiones no sobrepase el monto financiero fijado.
- La suma de todos los beneficios actualizados sea máxima.

El método consiste generalmente en conservar, hasta agotar las disponibilidades presupuestales, los proyectos más rentables; pero hay que ser prudentes, ya que eso depende del criterio utilizado y por otra parte el método no conduce tampoco al máximo de la suma de B-C.

Una buena aproximación consiste en colocar los diferentes proyectos en su año óptimo de puesta en servicio y después ajustar en el tiempo, sin modificar su orden, hasta que la suma de inversiones a efectuar durante la duración del plan quede de acuerdo con los medios de financiamiento.-

Pero no se puede asegurar que ésta sea la mejor secuencia de proyectos.

De este método surgen inmediatamente una serie de observaciones:

a) La tasa interna de retorno del último proyecto conservado en el programa, constituye un índice representativo del valor económico de las acciones previstas en el sector carretero. Este índice debe servir a reconsiderar el monto de los créditos aprobados al programa, y por aproximaciones sucesivas reevaluar el monto de las inversiones en obras viales para llevar una acción tan homogénea como sea posible con los otros sectores.

b) No todos los proyectos de obras viales se pueden evaluar en términos de rentabilidad. Nos encontramos así ante una imposibilidad de proceder a las comparaciones necesarias por ser de naturaleza diferente.

La ciencia económica no aporta actualmente ninguna medida común -- conforme a los efectos esperados de los proyectos, aunque se están haciendo esfuerzos para desarrollar los llamados métodos de multicriterios, en los cuales se trata de establecer la forma para poder comparar proyectos con objetivos múltiples.

c) La justificación de un proyecto solo es válida dentro del marco de un programa de conjunto. Los estudios de factibilidad no deben conformarse con proporcionar cifras de rentabilidad. Deben también al menos interpretarse comparándolas con cifras correspondientes a otros proyectos o realizaciones anteriores.

d) El análisis económico no debe considerarse él solo como un medio intangible de decisión. No hay que olvidar que este análisis deja de lado una cantidad importante de efectos no cuantificables. Se debe considerar solamente como una guía que ayude al grupo planeador -- quien debe saber liberarse de esto y tomar en cuenta elementos económicos que han sido despreciados, así como los demás elementos -- de carácter social y político.

Una vez hechas estas observaciones, y volviendo al establecimiento de un programa de inversiones, es indispensable definir cuáles proyectos -- son susceptibles de incluirse en dicho programa, para lo cual es posible hacer, como ya se señaló, una selección de aquellas obras cuyo año óptimo de realización, considerando solo su impacto individual, se encuentre dentro del lapso contemplado para el programa.

El problema de selección del año óptimo es en esencia un problema de -- análisis de alternativas, en efecto, un proyecto realizado en los años 1, 2, 3, ... j, puede teóricamente considerarse como proyectos diferentes, -- en los que se tienen diversos beneficios netos actualizados  $B_1, B_2, \dots, B_j$ , según el año en que entre en servicio. Si a un proyecto le corresponde una inversión (I) y un beneficio anual (bn) que depende del año y no del que corresponde a la puesta en servicio de la obra, y el horizonte económico es de (N) años, el Beneficio Neto Actualizado ( $B_j$ ) del proyecto realizado en el año (j), actualizado al de análisis será:

$$B_j = \sum_{n=j}^{N+j-1} \frac{bn}{(1+i)^n} - \frac{I}{(1+i)^j}$$

Análogamente:

$$B_{j+1} = \sum_{n=j+1}^{N+j} \frac{bn}{(1+i)^n} - \frac{I}{(1+i)^j}$$

En consecuencia:

$$B_j - B_{j+1} = \frac{1}{(1+i)^j} \left[ b_j - \frac{b_{N+j}}{(1+i)^N} + I \right]$$

la diferencia de  $B_j - B_{j+1}$  será más grande, igual o menor que cero, en tanto que.

$$b_j \stackrel{N}{\gtrless} I - \frac{b_{N+j}}{(1+i)^N}$$

El hecho de que convenga realizar el proyecto en el año (j) o en el (j+1) depende del signo de esta desigualdad.

El término  $\frac{b_{N+j}}{(1+i)^N}$  puede eliminarse si la vida del proyecto es muy larga,-

de donde:

$$b_j \stackrel{N}{\gtrless} I$$

Convendrá retardar la puesta en servicio del año (j) al año (j+1), si los beneficios que se dejan de percibir ( $b_j$ ), son más pequeños que la ventaja de retardar la inversión un año.

Las inversiones en infraestructura vial no pueden considerarse aisladamente para la determinación de un programa de efecto óptimo. En general, dos proyectos A y B considerados uno con relación al otro, son dependientes -

si la realización de uno de ellos modifica el beneficio neto actualizado - del otro, y son interdependientes en caso contrario. En esta última situación, los proyectos son complementarios si la realización de uno supone un aumento en el beneficio actualizado del otro, y son sustituibles si su ejecución conduce a reducción de beneficios.

Si se consideran (n) proyectos interdependientes  $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$  se pueden formar con ellos  $2^{n-1}$  proyectos diferentes, combinando entre ellos todas las posibilidades existentes.

$A_1, A_2, \dots, A_n; A_1 + A_2, A_1 + A_3, \dots, A_1 + A_n; \dots; A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_n$

A cada una de las combinaciones corresponderá un beneficio neto actualizado.

El proyecto económicamente más conveniente es el que supone el beneficio neto actualizado máximo. Cuando el número de los proyectos (n) es elevado, este método no es aplicable.

Se puede obtener una simplificación si se supone que los beneficios de las combinaciones terciarias, cuaternarias y n-arias pueden ser calculados a partir de los beneficios de los proyectos aislados y las variaciones sufridas en ellas por los efectos de combinaciones binarias.

Si se designa por  $B_{11}, B_{22}, \dots, B_{nn}$  los beneficios netos actualizados de los proyectos  $A_1, A_2, \dots, A_n$  respectivamente, y por  $B_{ij}$  para  $i \neq j$ , el beneficio actualizado producido en el proyecto (j) por la realización del pro

yecto (i), el número de beneficios a calcular en este caso sería  $n^2$ .

El problema es encontrar el vector de componentes  $(a_1, a_2, a_3 \dots a_n)$  -- donde  $a_i$  es cero si el proyecto  $A_j$  no es incluido en el programa de solución óptima, y uno en caso contrario. Materialmente se ensayará encontrar  $a_i$  para  $i = 1, 2, 3, \dots n$  de la manera siguiente:

$$\text{Máx } B = \sum_{j=1}^n \left[ a_j \sum_{i=1}^n a_i b_{ij} \right]$$

con la condición de que  $a_i$  sea entero.

$$0 \leq a_i \leq 1$$

La existencia de limitaciones presupuestarias, obliga a retardar la realización de proyectos, de ahí que conviene establecer un programa que tome en cuenta la evolución de los beneficios de cada proyecto según el año de su entrada en servicio y la variación de las disponibilidades financieras.

Si se llama:

$I_{jkh}$  = inversión necesaria para el proyecto  $A_j$  con cargo a los recursos financieros  $I_h$ , disponibles durante el año (h), suponiendo que la iniciativa empieza a operar en el año (k) y entendiendo por  $B_{jk}$  el beneficio neto actualizado y por  $(a_{jk})$  las incógnitas a determinar; el problema es tratar de encontrar:

$$\text{Máx } B = \sum_k \sum_{j=1}^n a_{jk} B_{jk}$$

sujeto a

$$\sum_k \sum_{j=1}^n I_{jkh} \leq I_n \text{ para toda } h$$

$$\sum_{j,k} a_{jk} \leq 1$$

$$0 \leq a_{jk} \leq 1; \quad a_{jk} \text{ entero.}$$

donde los índices  $k$  y  $h$  varían desde uno hasta el número de años incluidos en el programa o el número de años en los que se prevea el ejercicio del presupuesto.

Cabe mencionar la posibilidad de emplear otros criterios y métodos, como lo es la programación dinámica aplicada a procesos en secuencia; sin embargo, debe tenerse presente el campo de acción de dichos métodos y las limitaciones a las que están sujetos.

Cabe mencionar

asimismo el empleo del análisis beneficio-costos asociado con la accesibilidad y el ambiente. La razón de ello es que se ha considerado que aún se tienen escasos conocimientos en lo relativo a la selección del arreglo urbano más eficiente, tanto en un sentido general como para casos o situaciones particulares.

El tipo de estudio que se indicará a continuación pretende medir o calificar las tres variables mencionadas, en tal forma que permita comparar diseños o arreglos urbanos diferentes, en los cuales se incluyan aquellos proyectos que se hayan definido dentro de los esquemas de planeación. Tales arreglos podrán-



así contemplar la realización de todo un sistema o solo una parte de él, y se buscará determinar si lo que se elija responde desde los puntos de vista económico, técnico, físico y social a la satisfacción y solución de los problemas planteados. Cabe señalar que los arreglos o diseños urbanos que se estudien pueden comprender obras viales, sistema de estacionamientos y áreas asociadas al aspecto ambiental.

Dos puntos de tipo general deben ser señalados en relación con el análisis beneficio-costos: el primero es que en este caso, dicho análisis no es el mismo que el convencionalmente utilizado en carreteras, ya que en el costo se excluye el correspondiente al mantenimiento o conservación; asimismo, los beneficios serán aquellos que estén asociados a los conceptos de accesibilidad y ambiente, expresados como índices y no como ahorros monetarios en términos de costos de operación de vehículos, tiempo y reducción de accidentes. El segundo punto se refiere a que sólo ciertos aspectos seleccionados son incluidos en el análisis, tal como ocurre en el caso convencional aplicado en carreteras.

**El papel del análisis beneficio-costos.**

Al considerar un cierto esquema urbano para acomodar al tránsito actual y previsto, la Autoridad del lugar tiene en mente ciertos objetivos generales. Entre estos pueden destacar el proporcionar un alto nivel de accesibilidad, y establecer normas apropiadas en lo que se refiere al medio ambiente; sin embargo, en la generalidad de los casos existen restricciones o limitaciones a las que se enfrentan tanto los responsables de la selección de proyectos como la propia Autoridad. En efecto, pueden presentarse restricciones presupuestales,

o bien limitaciones físicas derivadas de las características propias del área urbana en estudio, que impiden el desarrollo previsto de ciertos proyectos.

Ante tal situación, el proyectista deberá preparar una variedad de esquemas tendientes a resolver los problemas planteados, en los cuales los máximos beneficios están asociados a un costo dado, o bien exista un costo mínimo para ciertos beneficios. Los responsables de la toma de decisiones deberán entonces de hacer una selección racional entre dichos esquemas, para lo cual deberán comparar los diferentes costos que impliquen los proyectos, así como los beneficios que ellos proporcionarán.

Frente a tal situación, las autoridades demandan un criterio que les permita hacer dicha comparación. Este criterio puede no ser aquel que señale el esquema de menor costo, o aquel que determine el de máximos beneficios, sino que deberá buscarse el que proporcione el mayor excedente de beneficios en relación con los costos correspondientes. En este caso, los beneficios y los costos deben ser medidos en unidades homogéneas, esto es, en términos monetarios; sin embargo, el método que se describirá trata de establecer valores numéricos a la calidad de todos y cada uno de los esquemas que se propongan. Dicho sistema, al asignar en forma arbitraria un número de puntos (peso) a los esquemas, está sujeto a objeciones; no obstante se estima que es mejor efectuar algo de este tipo a no considerar ningún tipo de análisis previo a una decisión.

Bajo este sistema de calificación o medida, la cantidad de beneficios pue

de ser expresada como un índice el cual puede ser comparado con el costo expresado en términos monetarios. La relación resultante se ha denominado "la tasa de retorno".

Antes de proceder a describir el método, se hará referencia a los costos y beneficios asociados a tres alternativas que a título de ejemplo se han tomado de la ciudad de Newbury, en Inglaterra y que se ilustran en las figuras anexas.

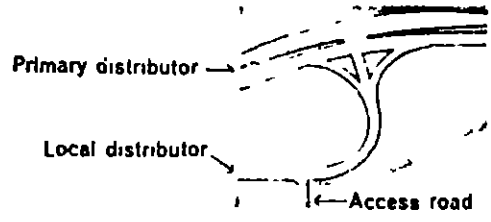
Para fines de este ejemplo se han denominado los esquemas en la forma siguiente






- Esquema A:      esquema con red restringida.  
 Esquema B:      esquema con un desarrollo mínimo.  
 Esquema C:      esquema con un desarrollo parcial.

En cada caso, el ejemplo solo comprende lo propuesto para el área central de la zona urbana en estudio.

Tabla de Costos

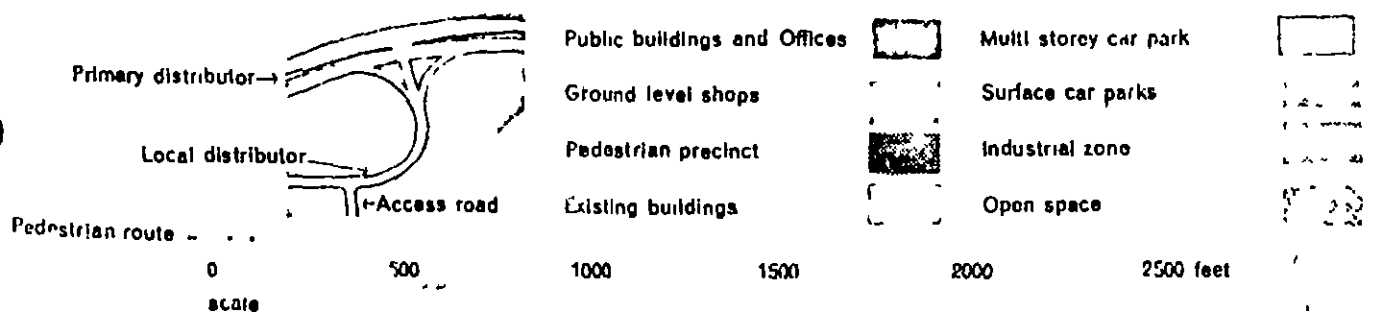
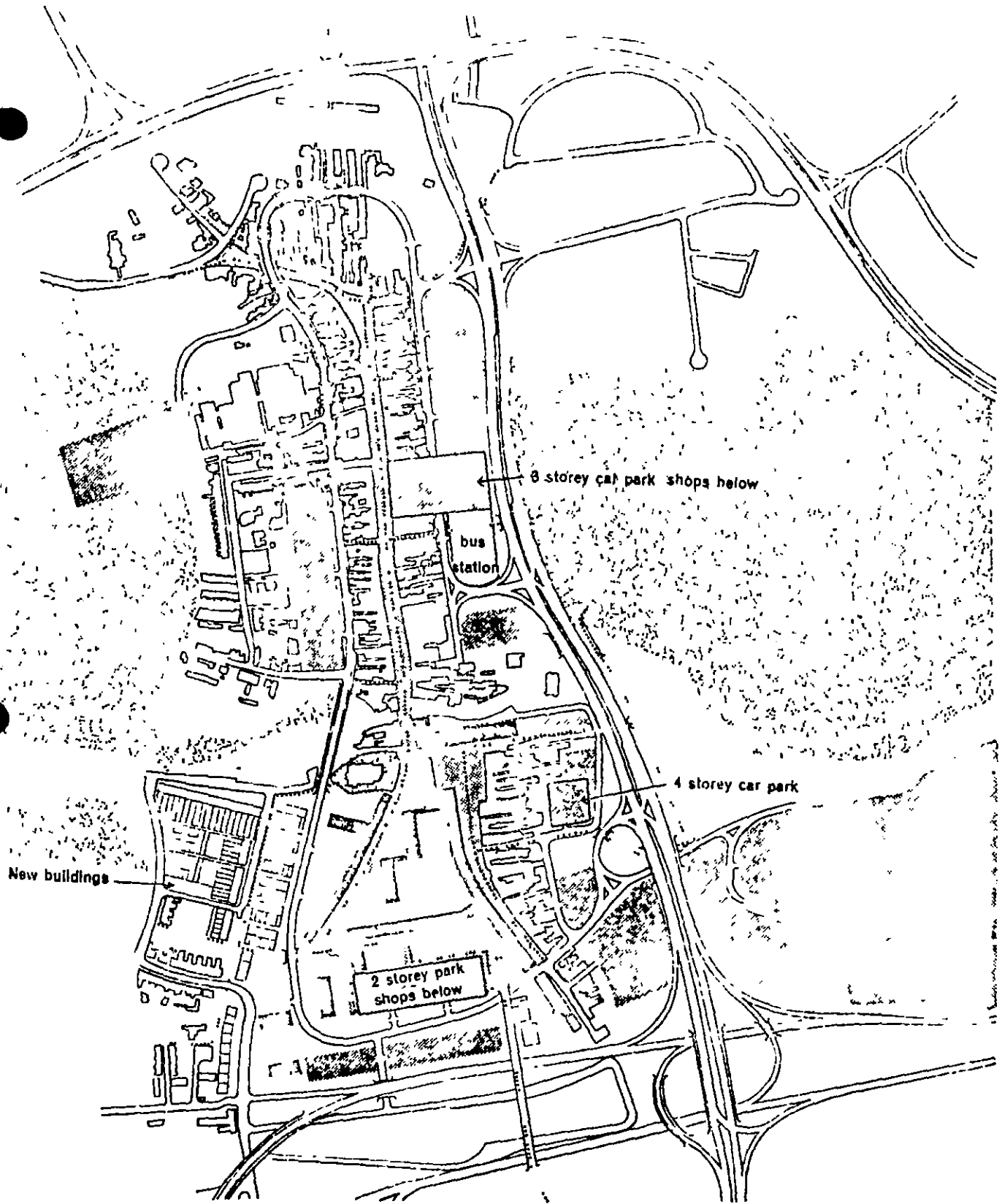
	Esquema A		Esquema B		Esquema C	
	£(000)	£(000)	£(000)	£(000)	£(000)	£(000)
Trabajos requeridos						
Red primaria: terrenos	230		456		413	
trabajos	180	_____	360	_____	360	_____
		410		816		773
Area central, <u>dis</u> terrenos	1292		990		1030	
tribuidor local: trabajos	116	_____	150	_____	200	_____
		1408		1140		1230



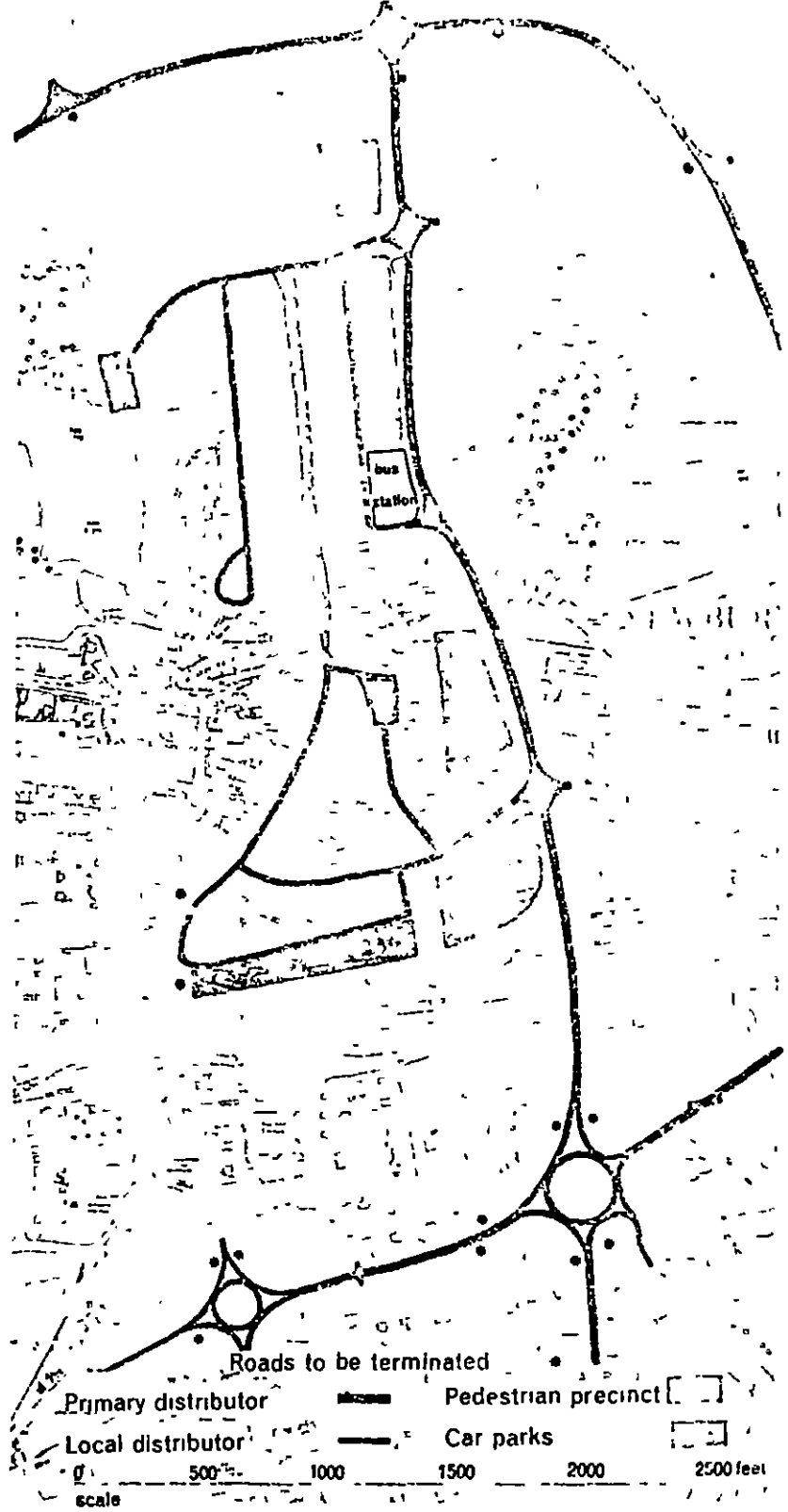
Pedestrian route	—	Surface car park	
Pedestrian precinct		Existing buildings	
		Industrial zone	
		Open space	



96 The central area with minimum redevelopment Northbrook Street is wholly for pedestrians, with a new rear access road for servicing South of the river, pedestrians and service traffic share the existing streets



... a new bridge over the river to improve the



100 The restricted network.

capacity of the road is actually reduced just when the maximum is most needed. The delays involved may be small to each individual concerned, but when added up over the years for the whole travelling public, and expressed in terms of private and social costs, they are likely to be far more than the cost of the works required to obviate the congestion

171. Another point which arises from the restricted scheme described in the preceding paragraph, is that an authority which takes cheapness as the criterion of its planning must also accept that the local community will not be able to make full use of motor vehicles, and that there will be a consequent risk of losing business to some nearby locality where better standards obtain. The particular form the risk might take is in the establishment of 'out-of-town' shopping centres catering specifically for car-shoppers. Such centres might be established in the vicinity of several

Estaciona- mientos	terrenos trabajos	720 120		1180 240		960 720	
			<u>840</u>		<u>1420</u>		<u>1680</u>
Estación p' autobuses.	terrenos trabajos	30 3		30 3		30 3	
			<u>33</u>		<u>33</u>		<u>33</u>
	menos rentas	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)
	terrenos	-	-	-	-	3530	-
Desarrollo	limpieza	-	-	-	-	52	<u>-</u>
	menos rentas	-	-	-	-	(1725)	3528
							(1725)

Costo de terrenos y

trabajos	2691	3409	7298
Menos rentas	(8)	(8)	(1733)
Costo total neto	2683	3401	5565

Obviamente para cada esquema y en cada uno de los trabajos requeridos, - es necesario especificar las características técnicas y económicas particulares.

Beneficios

Las dos clases de beneficios que es necesario tomar en cuenta se han intitulado "accesibilidad" y "ambiente", mismos que serán detallados posteriormente. Cabe señalar que el método que se describirá es solo uno de los enfoques que puede darse para su determinación, pero tiene el mérito de - poder ser aplicado en forma consistente para el análisis de los diferentes-

esquemas planteados.

### Capacidad.

Para fines de este análisis, se introduce el término de "capacidad burda" con el cual se define la factibilidad o posibilidad de que un área acepte la entrada o salida de vehículos durante un período determinado, así como el estacionamiento de dichos vehículos en los sitios que existan en la misma. En otros términos, es el número máximo de vehículos los cuales (suponiendo todos los espacios para estacionamiento ocupados al inicio — del período) pueden abandonar los sitios para estacionarse en el área en un período de una hora. Conforme a lo anterior se determinaron las capacidades siguientes para el caso del ejemplo:

Tabla de Capacidades

	Diseño actual	Esquema A	Esquema B	Esquema C
Espacios para estacionamiento (público y privado)	1600	2250	4000	4500
Capacidad posible de desalojo de carreteras internas y conexiones con la red (v.p.h.)	2200	1700	3500	3500
Capacidad burda (v.p.h.)	1600	1700	3500	3500

### Accesibilidad.

Este término puede definirse como la relación entre la capacidad de un área para acomodar vehículos y el número de vehículos deseando entrar y—



estacionarse dentro de la misma. En general, la accesibilidad es igual a la relación entre el "ofrecimiento de espacios" y la "demanda de espacios". Si se usa el término de capacidad burda como una medida de la oferta, y la generación potencial de vehículos (en la hora máxima) como medida de la demanda, se podría obtener la relación siguiente:

$$\text{Accesibilidad} = \frac{\text{Capacidad burda}}{\text{Generación potencial}}$$

Hasta ahora la accesibilidad se ha descrito simplemente en términos de capacidad de un área y por la demanda. Es necesario condicionarla también a la calidad de la disposición de ofrecerla. Para ello se requiere tomar en cuenta los aspectos siguientes. la seguridad para los usuarios; la distribución de los estacionamientos y de los sitios para carga y descarga; la conveniencia de rutas internas para permitir el desplazamiento de vehículos directamente de una parte a otra dentro de la zona; y la conveniencia del proyecto para los usuarios en algunos otros aspectos.

Para el caso del ejemplo que nos ocupa, estos cuatro aspectos fueron tomados en cuenta en los esquemas analizados, con los resultados que se indican a continuación. Cabe hacer notar que cada concepto ha sido calificado, en forma arbitraria, de acuerdo con su posible influencia en la accesibilidad. El número total de puntos (A) para cada esquema no puede exceder de 100.

## Cuadro de Calificaciones (A)

Concepto	Aspectos tomados en cuenta	Puntuación máxima posible	
Seguridad	1. Ningún conflicto entre vehículos en los enlaces con la red, o con carreteras internas.	20	
	2. Ningún conflicto vehicular evitable en lugares de parada, o en lugares donde los conductores se convierten en peatones (ej. estacionamientos)	20	<u>40</u>
Distribución	1. Distribución adecuada de los lugares de carga, espera y servicio para vehículos específicos.	15	
	2. Distribución adecuada de los estacionamientos.	10	<u>25</u>
Penetración y dirección	1. Adaptabilidad del sistema de carreteras para permitir a los vehículos arribar cerca de las construcciones; para vehículos específicos y opcionales	12	
	2. Adaptabilidad del sistema de carreteras para permitir a los vehículos desplazarse directamente de una zona a otra dentro del área	8	<u>20</u>
Comodidad	1. Adaptabilidad del proyecto para el fácil movimiento de giros y maniobras de vehículos específicos y opcionales (en carreteras de acceso y de estacionamientos, etc.)	10	
	2. Claridad de los proyectos para el usuario; interés de estos desde el punto de vista del conductor.	5	<u>15</u>
	Puntuación máxima posible		<u>100</u>

Con base en lo anterior puede establecerse el índice de accesibilidad en la forma siguiente:

$$\text{Índice de accesibilidad} = \frac{\text{Capacidad burda} \times A}{\text{Generación potencial}}$$

Tabla de accesibilidad en los esquemas considerados en el ejemplo  
Con generación potencial al año 2010

	Condiciones presentes	Diseño Actual	Esq. A	Esq. B	Esq. C
Capacidad burda (v.p.h.)	1600	1600	1700	3500	3500
(A) puntuación	54	54	60	68	78
Generación potencial (v.p.h.)	1250	3000	3000	3000	3000
Índice de accesibilidad	69	29	34	79	91

La tabla muestra que de no hacerse cambios en la situación actual, la accesibilidad se reducirá para el año 2010 a menos de la mitad del valor presente, solo como resultado del número adicional de usuarios potenciales. Los esquemas A, B y C podrían ser el resultado de mejoramientos progresivos derivados del incremento en la capacidad, así como de los valores de los conceptos consignados en (A).

Ambiente.

Cuando los vehículos penetran al área y son admitidos por ésta, las condiciones ambientales necesariamente se ven alteradas. La accesibilidad para los usuarios puede verse mejorada, pero las normas del medio ambiente pueden verse reducidas.



,

Para llevar a cabo la comparación de los esquemas propuestos para el -- ejemplo de Newbury, es conveniente analizar la adaptabilidad de dichos -- esquemas al medio ambiente mediante la preparación de una tabla del tipo que se ilustra a continuación:

Tabla sobre la adaptabilidad al medio ambiente (C)

Concepto	Aspectos tomados en cuenta	Número de po sibles puntos	
Seguridad	1. Completa separación de peatones y vehículos	28	
	2. La no intromisión de tránsito de paso o de tránsito con caracterís ticas no deseables	16	
	3. Ningún punto con conflictos mayo res; ninguna velocidad excesiva	16	<u>60</u>
Confort	1. Ninguna proximidad indebida de - áreas para peatones o de construc ciones a las de medio o alto flujo de tránsito.	7	
	2. Lo señalado pero asociado a esta cionamientos o estructuras como - por ejemplo garages, etc.	5	
	3. Ningún efecto irresistible	3	<u>15</u>
Conveniencia o comodidad	1. Ninguna separación de los enlaces usados por el tránsito de las carre teras (distribuidores), o tránsitos - indeseables	5	
	2. Adaptabilidad de los sistemas de ac ceso de peatones dentro del área y- a otras áreas	5	
	3. Adaptabilidad del acceso de peatones al transporte público	5	<u>15</u>

Apariencia	1. Ninguna dominación del escenario por vehículos en movimiento o estacionados.	4	
	2. Lo anterior pero asociado a las estructuras para vehículos (garage, etc.)	4	
	3. Lo mismo pero referido al equipamiento de calles o señalamiento	2	
			10
	Puntuación total posible		100

Para el caso del ejemplo se obtuvieron los valores que se consignan en la tabla siguiente; sin embargo, la puntuación señalada (E) no da indicación de la capacidad de un área para admitir vehículos sin detrimento del medio ambiente. Por esta razón se hace uso del concepto de "capacidad ambiental" que es definido en la forma siguiente:

$$\text{Capacidad ambiental} = \frac{\text{Capacidad burda} \times E}{100}$$

Este término debe entenderse como la habilidad de un área para admitir -- vehículos sin detrimento del medio ambiente.

	Diseño Actual	Esq.A	Esq.B	Esq.C
Capacidad burda (v.p.h.)	1600	1700	3500	3500
(E) Puntuación	38	64	72	79
Capacidad ambiental	610	1090	2500	2760
Superficie del área (acres)	113	124	132	132
Indice de la capacidad ambiental (por acres del lugar)	5.4	8.8	19.2	21.9

.....

La razón de considerar la capacidad por unidad de superficie (acre en este caso), es que como capacidad ambiental simplemente no puede ser utilizada para comparar esquemas alternativos de diferentes tamaños.

Accesibilidad ambiental.

Las dos medidas anteriores, es decir, la accesibilidad y el ambiente, pueden expresarse en un solo índice para facilitar con ello el análisis de los costos y beneficios. Dicho índice sería igual a:

$$\text{Accesibilidad ambiental} = \frac{\text{Índice de accesibilidad} \times E}{100}$$

Los resultados obtenidos para los esquemas del ejemplo son los siguientes:

	Condiciones presentes.	Con generación potencial al año 2010			
		Diseño presente	Esq.A	Esq.B	Esq.C
Índice de accesibilidad	69	29	34	79	91
(E) Puntuación	38	38	64	72	79
Índice de accesibilidad ambiental	26	11	22	57	72

#### Análisis de costo y beneficio

Teniendo en forma separada los costos y las calidades de los diferentes-esquemas, es posible efectuar la comparación entre ellos con el propósito de determinar la diferencia en los beneficios que se obtendría para cada uno de los niveles de inversión. Primeramente la comparación es hecha para responder a la pregunta: si los tres esquemas son considerados como alternativas, cuál mostraría el más alto valor monetario? En la siguiente tabla se tiene el sumario de las posiciones de los esquemas, a los cua-

les se les ha agregado el denominado "ninguna inversión" para el año - - 2010. Por consiguiente, es el mejoramiento sobre las condiciones que — existirían si no se realizara ningún trabajo el que proporciona la medida de los beneficios derivados de la inversión correspondiente a cada esque ma.

Beneficios y costos de los tres esquemas comparados con la situación en el año 2010 si no se realizara trabajo alguno.

Esquema	Índice accesibilidad ambiental	Beneficio	Costo £ m	$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}}$
Sin ninguna inversión	11	-	0	-
A	22	11	2.7	4.1
B	57	46	3.4	13.5
C	72	61	5.6	10.9

La tabla muestra para cada esquema el costo total, la calidad total como resultado del cálculo del índice de accesibilidad ambiental, y el beneficio, el cual es expresado como el mejoramiento del índice anterior con relación al correspondiente a la situación denominada "sin ninguna inversión" en el año 2010. Adicionalmente se incluye la relación beneficio-costos, que representa la "tasa de retorno", aún cuando el beneficio está medido por un índice y no en términos monetarios.

De la tabla anterior, y utilizando únicamente este criterio, aparentemente la solución a elegir por las autoridades sería la correspondiente al esque



ma B, ya que muestra la más alta tasa de retorno en términos de accesibilidad ambiental en relación con los costos. Sin embargo, las autoridades podrían plantearse una pregunta más compleja. Los beneficios adicionales del esquema B sobre los de A, o los de C sobre B, justifican los costos adicionales? Para dar respuesta a esta pregunta en la tabla siguiente se muestran los incrementos en los beneficios, de los costos y de las relaciones beneficio-costo de cada esquema en relación con el que le precede.

Comparación del incremento en costos y beneficios de los tres esquemas, en términos de accesibilidad ambiental.

Esquema	Beneficio	Incremento Costo £ m	Beneficio/costo
Sin ninguna inversión	-	-	-
A	11	2.7	4
B	35	0.7	50
C	15	2.2	7

De las dos últimas tablas se obtienen las siguientes conclusiones:

1. La accesibilidad ambiental se aumenta conforme los costos se incrementan, incluyendo el esquema C. En tal forma, cada esquema produce beneficios extras para costos adicionales, y el esquema C produce el beneficio máximo.
2. El esquema B es en forma evidente el más valioso, ya que tiene tanto la relación beneficio-costo como el incremento de esta relación más -

altos; el beneficio extra sobre el esquema A es comparativamente alto para el costo que implica.

3. Si las autoridades tuvieran problemas de restricción presupuestal y, por consiguiente, desearan obtener únicamente la más alta tasa de retorno de cada inversión, la decisión tendría que hacerse sobre el esquema B por ofrecer éste la mejor relación beneficio-costos.
4. Si los recursos financieros no estuvieran limitados en esa forma, sería el esquema C el de mayor validez por proporcionar los beneficios extras más grandes, en términos monetarios, en relación con los costos extras. Sin embargo, puesto que en el análisis los beneficios no han sido determinados en términos monetarios, no es posible ofrecer conclusiones satisfactorias en dichos casos, y solo deberá ser juzgado por las autoridades el hecho de que se justifique una inversión adicional de £ 2.2 m. para obtener una accesibilidad ambiental extra como la que se indica en el cuadro correspondiente.

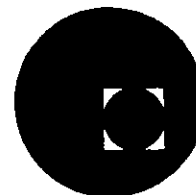
Mediante este ejemplo, se ha tratado de mostrar la forma como un análisis beneficio-costos puede ayudar a los responsables de las decisiones en la selección de alternativas, entre las cuales podrán incluirse las diferentes etapas de un plan de desarrollo de infraestructura vial. Asimismo, cómo puede ser utilizada esta herramienta para conformar un programa de inversiones que conduzca al desarrollo por etapas de la red vial de una zona o núcleo urbano; sin embargo, cabe destacar que tanto este tipo de estudios como los señalados en la primera parte de este documento, no

son reglas o métodos invariables y únicos, y que aún resta mucho por desarrollar en lo que se refiere a metodologías de análisis para la programación, evaluación y justificación de proyectos asociados con el complejo problema del transporte en general.





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam

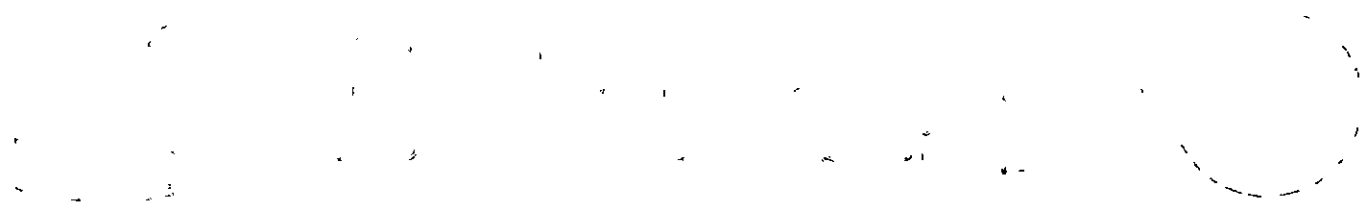


P R O B L E M A S  
D E  
C A P A C I D A D



**Ing. José Mirabent González Jáuregui**

Palacio de Minería  
Tacuba 5, primer piso México 1, D F.  
Tels 521-40-23 521-73-35 512-31-23





B. Determinése:

1. Longitud de la zona de entrecruzamiento.
2. Ancho de la zona de entrecruzamiento.

C. Solución

1.- Determinación de la longitud de la zona de entrecruzamiento  
obténgase primero la calidad del flujo compatible con el nivel de servicio en los caminos, empleando la tabla 1. Tomando en cuenta el tipo y los niveles de servicio de los caminos que forman la zona de entrecruzamiento, se tiene una calidad del flujo que puede ser II ó III. Para fines de proyecto se considera la calidad II, que es la deseable.

Transfórmense los volúmenes de entrecruzamiento a vehículos ligeros equivalentes.

$$\text{Vehículos ligeros} = \frac{V_{w1} + V_{w2}}{T_L}$$

En la cual:

$$V_{w1} = 1\ 350 \text{ vph}$$

$$V_{w2} = 560 \text{ vph}$$

$$V_{w1} + V_{w2} = 1\ 910 \text{ vph}$$

$T_L = 0.71$  ( de la tabla 2 en combinación con la tabla 3).

$$\text{Vehículos ligeros} = \frac{1\ 910}{0.71} = 2\ 690 \text{ vph}$$



Con la calidad del flujo II y el volúmen de entrecruzamiento en vehículos ligeros, antes calculado, éntrese a la gráfica de la Figura 1 para obtener la longitud de la zona de entrecruzamiento,  $L = 1\ 350\ m$ .

Como  $1\ 350\ m$  es mayor que la longitud disponible ( $800\ m$ ), será necesario aceptar una calidad del flujo menor que la establecida. Considerando la calidad mínima aceptable III, se obtiene de la misma gráfica de la Figura 1 una longitud de  $710\ m$ , la cual queda dentro de la longitud máxima disponible.

## 2. Determinación del ancho de la zona de entrecruzamiento

$$N = \frac{V + (k - 1) V_{w2}}{VS}$$

$$V = 1\ 930 + 1\ 850 = 3\ 780\ vph$$

$$k = 3.0\ \text{para la calidad del flujo III}$$

$$V_{w2} = 560\ vph$$

$$VS = \frac{\text{VS en cada rama}}{\text{Carriles de todas las ramas}}$$

$$\text{VS en las ramas a, c y d} = 2\ 750 \times 3 = 8\ 250\ vph\ (\text{de la tabla 2'})$$

$$\text{VS en la rama b} = 4\ 350 = \underline{4\ 350}\ vph\ (\text{de la tabla 2'})$$

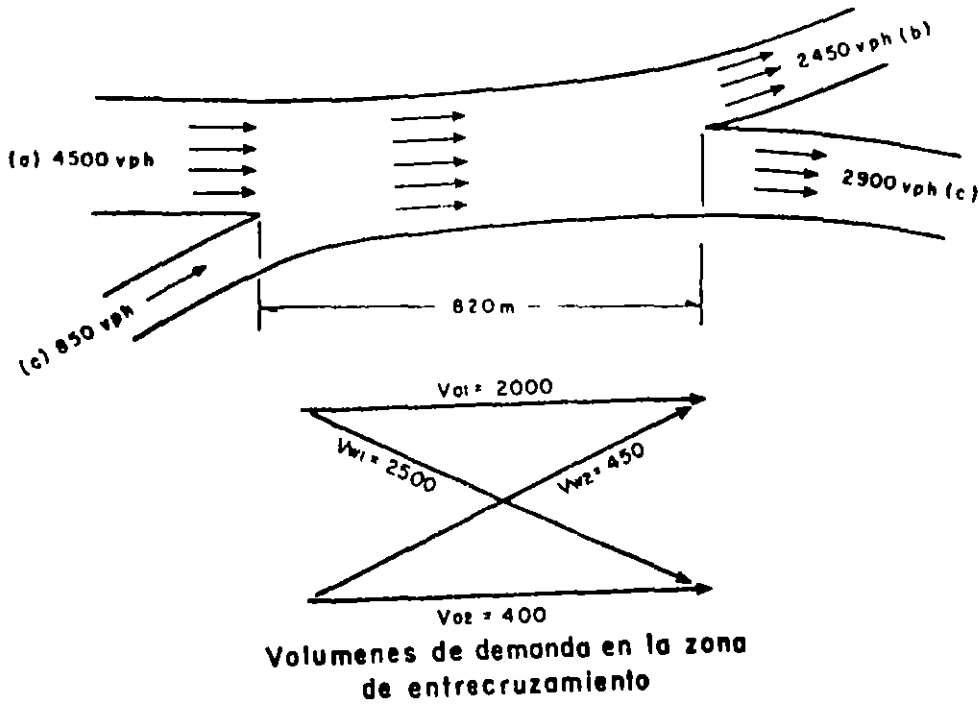
$$\text{TOTAL} \qquad \qquad \qquad 12\ 600\ vph$$

$$\text{VS promedio} = \frac{12\ 600}{9} = 1\ 400\ vph$$

Comparando con el valor máximo admisible de la Tabla 4.

$$1\ 400\ vph < 1800\ vph\ (\text{calidad del flujo III})$$





B. Determínese:

1. La calidad del flujo en la zona de entrecruzamiento.
2. El nivel de servicio en las ramas de la zona de entrecruzamiento.

C. Solución

1. Determinación de la calidad del flujo.

Transfórmense los volúmenes de entrecruzamiento a vehículos ligeros, con la expresión:

$$\text{Vehículos ligeros} = \frac{V_{w1} + V_{w2}}{T_L}$$

$$V_{w1} = 2\ 500 \text{ vph} \quad V_{w2} = 450 \text{ vph}$$

Para determinar  $T_L$ , se considera que la longitud de la pendiente empieza 400m antes de la zona de entrecruzamiento; por lo tanto, la longitud de la pendiente será de  $400 + 820 = 1\ 220$  m.

De acuerdo con lo anterior,  $E_T = 10$  ( de la tabla 3)

$$\text{y} \quad T_L = 0.79 \text{ ( de la tabla 2)}$$

Substituyendo:

$$\text{Vehículos ligeros} = \frac{450 + 2\ 500}{0.79} = 3\ 735 \text{ vph}$$

Con este volúmen y la longitud de la zona de entrecruzamiento en la gráfica de la Figura 1, se obtiene que la calidad del flujo está comprendida entre III y IV, con un valor de  $k = 3.0$ .

Verifíquese que el número de carriles en la zona de entrecruzamiento sea el adecuado para la calidad del flujo obtenida anteriormente, utilizando la expresión:

$$N = \frac{V (k - 1) V_{w2}}{V S}$$

$$V = 4\ 500 + 850 = 5\ 350 \text{ vph}$$

$$k = 3.0$$

$$V_{w2} = 450 \text{ vph}$$

$$\text{VS promedio} = \frac{\text{VS en cada rama}}{\text{Carriles de todas las ramas}}$$

VS en la rama (a) = 6 000 vph ( de la tabla 2')

VS en la rama (b) = 1 650 vph ( de la tabla 2')

VS en las ramas (c) y (d) = 4 350 x 2 = 8 700 vph (de la tabla 2')

$$\text{TOTAL} = 16 350 \text{ vph}$$

$$\text{VS promedio} = \frac{16 350}{11} = 1 486 \text{ vph}$$

Comparando con el VS máximo admisible de la tabla 4

1846 vph < 1 800 vph (calidad del flujo III)

Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.79 (obtenido en la primera parte de la solución).

$$\text{VS prom.} = 1 486 \times 0.79 = 1 174 \text{ vph (tránsito mixto)}$$

Substituyendo:

$$N = \frac{5 350 + (3.0 - 1) 450}{1 174} = 5.3$$

Comparando con el número de carriles en la zona de entrecruzamiento.  $5 \dot{=} 5.3$

De lo anterior se concluye que el número de carriles es el adecuado para la calidad del flujo inicialmente encontrada (III -IV)

- 2.- Determinación del nivel de servicio en las ramas, considerando la influencia de la calidad del flujo existente en la zona de entrecruzamiento.

Sabiendo que la zona de entrecruzamiento está ubicada en el entronque de una autopista y que la calidad del flujo está comprendida entre III y IV, de la Tabla A se obtiene que en el nivel de servicio en las ramas es C, este nivel de servicio coincide con el nivel de servicio dado como dato en el ejemplo.

Lo anterior indica que la operación en la zona de entrecruzamiento y la operación en los caminos que la forman, guardan el balance apropiado.

## ANALISIS DE CAPACIDAD Y VOLUMENES DE SERVICIO EN INTERSECCIONES A NIVEL CONTROLADAS CON SEMAFOROS.

### Solución de ejemplos típicos

#### Ejemplo 1.

##### A. Datos:

Intersección de 2 calles, ambas de un solo sentido de circulación.

Ancho del acceso en estudio = 15 m, véase croquis que se incluye.

Estacionamiento en ambos lados.

Ubicación en la zona circundante al centro de la ciudad.

Población del área metropolitana = 175 000 habitantes.

Factor de la hora de máxima demanda = 0.75.

Fases cargadas = 10/hora.

Longitud del ciclo = 60 segundos.

Intervalo de luz verde = 30 segundos .

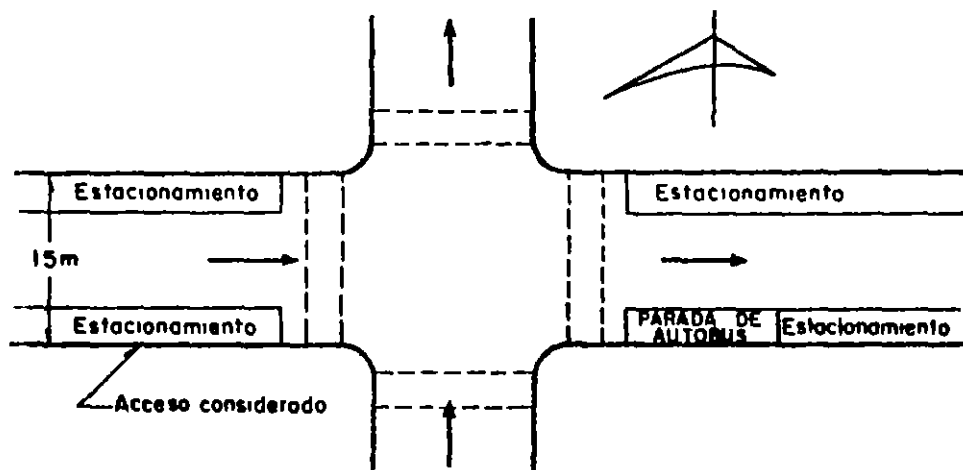
Vueltas a la derecha = cero

vueltas a la izquierda = 8%

No existe carril ni fase especial para vuelta.

Vehículos pesados = 7%

Autobuses urbanos = 10 /hora, con parada después de cruzar la calle.



B Determinése.

Para el acceso en estudio:

1. El Volumen de servicio.
2. El nivel de servicio.
3. La capacidad.

C. Solución:

1. Volumen de servicio:

$$VS = (VA_{w, FC}) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

Para determinar el valor de  $VA_{w, FC}$ , es necesario primero determinar el factor de carga, el cual está en función del número de fases cargadas dentro de la hora  $FC = 10/60 = 0.166$

$$VA_{w, F, C,} = 2\ 600 \text{ vph de luz verde (de la Figura 4)}$$

$$G/C = 30/60 = 0.50$$

$$PAM, FHMD = 0.87 \text{ ( de la tabla de la Figura 4)}$$

$$UC = 1.00 \text{ ( de la tabla de la Figura 4)}$$

$$VD = 1.00 \text{ ( de la tabla 5)}$$

$$T = 0.98 \text{ ( de la tabla 14)}$$

$$B = 1.00 \text{ ( de la Figura 8)}$$

Substituyendo:

$$VS = 2\ 600 \times 0.50 \times 0.87 \times 1.00 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.98 \times 1.00$$

$$VS = 1\ 108 \text{ vph}$$

2. Nivel de servicio.

De la tabla 15 para un factor de carga de 0.166, el nivel de servicio correspondiente es C.



### 3. Capacidad

En este caso, a falta de información, relativa al factor de carga bajo condiciones de altos volúmenes de tránsito, supóngase un factor de carga = 0.85.

Con excepción del valor de  $V A_{W, F, C}$ , el cual varía con el nuevo factor de carga, los demás factores permanecen invariables.

$$\begin{aligned} V A_{W, F, C} &= 3\,700 \text{ vph de luz verde ( de la Figura 4)} \\ C &= 3\,700 \times 0.50 \times 0.87 \times 1.00 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.98 \\ &\quad \times 1.00 \\ C &= 1\,577 \text{ vph} \end{aligned}$$

#### Ejemplo 2.

##### A Datos:

Intersección de 2 calles, ambas de 2 sentidos de circulación. El acceso por analizar es el correspondiente a la rama poniente de la intersección y se plantean las siguientes condiciones:

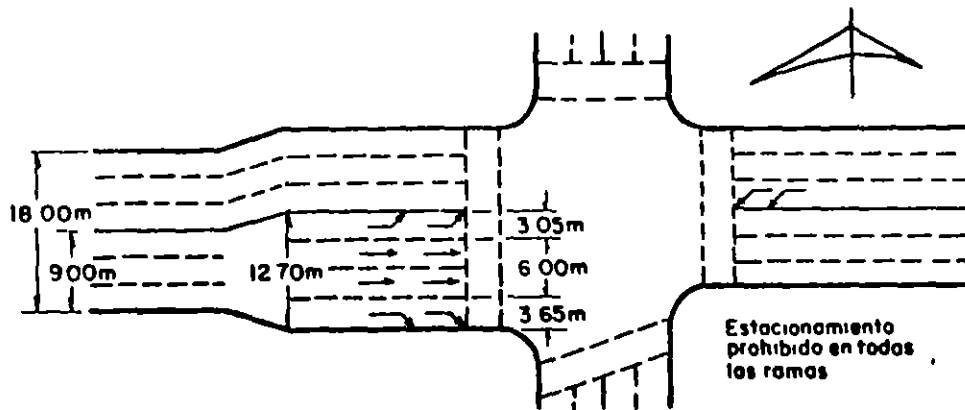
- a) El acceso es ampliado para proporcionar 4 carriles de circulación, reservándose un carril para vueltas a la izquierda y un carril para vueltas a la derecha. Los anchos se muestran en el croquis que se incluye.
- b) El acceso no es ampliado, conservándose únicamente 9 m de ancho.

Sin estacionamiento

Zona comercial fuera del centro de la ciudad.

Población del área metropolitana = 375 000 habitantes.

Factor de la hora de máxima demanda = 0.85.



Operación del semáforo.

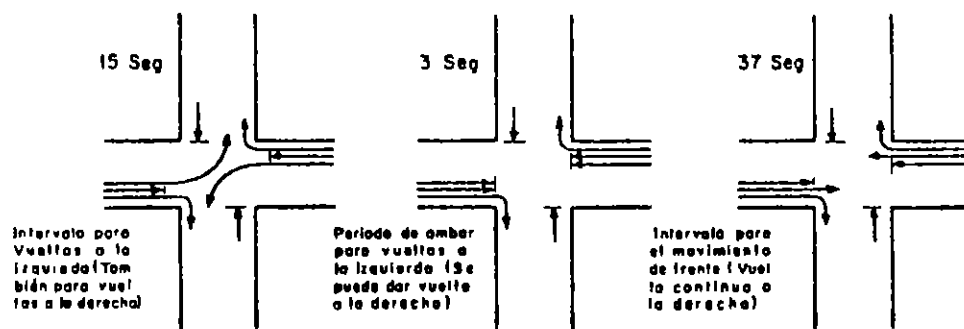
Para la condición a)

Longitud del ciclo = 90 seg.

Intervalo de luz verde para el tránsito que sigue de frente = 37 seg.

Intervalo de luz verde para vueltas a la izquierda = 15 seg,  
(simultáneo con las vueltas a la izquierda del sentido opuesto,  
pero separado de la indicación del semáforo para el tránsito  
de frente).

Intervalo de luz verde para vueltas a la derecha = 55 seg (simultáneo con la luz verde para vueltas a la izquierda, luz amarilla para vueltas a la izquierda y luz verde para el tránsito de frente) =  $15 + 3 + 37 = 55$  seg.



Para la condición b):

Longitud del ciclo = 90 seg.

Intervalo de luz verde, para todos los movimientos = 55 seg

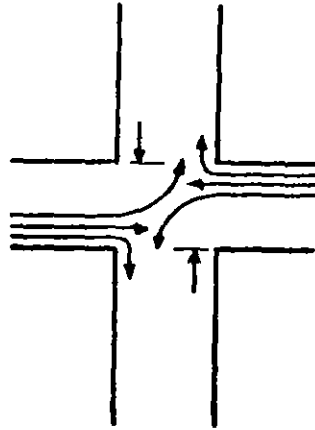
Vueltas a la derecha = 28 %.

Vueltas a la izquierda = 10%

Vehículos pesados = 3%

Autobuses urbanos = ninguno.

Sin interferencia de peatones.



B. Determinése:

Volúmen que puede alojar el acceso, al nivel del servicio D.

Para las condiciones a) y b) planteadas en los datos.

C. Solución:

1. Para la condición a)

Volúmen de servicio en los carriles disponibles para el tránsito que sigue de frente.

$$VS_D = (V A_{W, FC} (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

$$w = 6.0 \text{ m (ancho disponible para el tránsito que sigue de frente)}$$

$$FC = 0.7 \text{ (de la tabla 15, para nivel de servicio D)}$$

$$VA_{W, FC} = 1\,600 \text{ vph de luz verde (de la Figura 5)}$$

$$G / C = 37 / 90 = 0.41$$

PAM, FHMD = 1.03 ( de la tabla de la Figura 5)

UC = 1.25 ( de la tabla de la Figura 5)

VD = 1.05 ( de la tabla 5, para 0% de vueltas derechas)

VI = 1.10 ( de la tabla 6, para 0% de vueltas izquierdas)

T = 1.02 ( de la tabla 7)

B = ( No aplicable en este ejemplo)

Substituyendo:

$$VS_D = 1\ 600 \times 0.41 \times 1.03 \times 1.25 \times 1.05 \times 1.10 \times 1.02$$

$$VS_D = 995 \text{ vph ( de frente)}$$

Volúmen de servicio en el carril especial para vueltas a la derecha  
Volúmen por hora de luz verde. Para el nivel D, el volúmen de servicio correspondiente a un carril especial, para dar vuelta, es de 1 000 vph de luz verde, considerando 5% de vehículos pesados y un ancho del carril de 3.05 m. Como en este caso el ancho del carril es de 3.65 m, el volúmen de servicio se verá afectado por la relación 3.65 / 3.05.

$$\text{Relación } G/C = 55/90 = 0.61$$

$$T = 1.02 \text{ ( de la tabla 7)}$$

Substituyendo:

$$VS_D = 1\ 000 \times \frac{3.65}{3.05} \times 0.61 \times 1.02$$

$$VS_D = 748 \text{ vph}$$

Volúmen de servicio en el carril especial para vueltas a la izquierda.

Procediendo en forma semejante

Volúmen por hora de luz verde = 1 000 vph.

$$\text{Relación } G/C = 15/90 = 0.166$$

$$T = 1.02$$

Substituyendo:

$$VS_D = 1000 \times 0.166 \times 1.02$$

$$VS_D = 170 \text{ vph}$$

Verificación de los volúmens de servicio que proporciona el acceso en los carriles para dar vuelta a la distribución del tránsito que llega al acceso.

$$\text{Vueltas a la derecha} = 28\%$$

$$\text{Vueltas a la izquierda} = 10\%$$

$$\text{Tránsito de frente} = 62\%$$

Volúmen de servicio posible en todo el acceso al nivel de servicio.

$$D = 995/0.62 = 1\ 604 \text{ vph.}$$

Posible volúmen que puede dar vuelta a la derecha =  $1\ 604 \times 0.28$   
= 449 vph.

Como  $449 \text{ vph} < 748 \text{ vph}$ , la operación es satisfactoria al nivel D

Posible volumen que puede dar vuelta a la izquierda =  $1\ 604 \times$

$0.10 = 160 \text{ vph}$ .

Como  $160 \text{ vph} < 170 \text{ vph}$ , la operación es satisfactoria al nivel D

2. Para la condición b):

En este caso es aplicable:

$$VS_D = (V A_{W, FC}) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

$W = 9.00 \text{ m}$ . (ancho sin considerar la ampliación)

$FC = 0.7$  (de la tabla 8, para nivel de servicio D)

$V A_{W, FC} = 2\ 420 \text{ vph}$  de luz verde (de la figura 5)

$$G/C = 55/90 = 0.61$$

Los factores de ajuste son los mismos que para la solución a)

del ejemplo, excepto que en este caso:

$VD = 0.995$  (de la tabla 5; para 28% de vueltas derechas)

$VI = 1.00$  (de la tabla 6; para 10% de vueltas izquierdas)

Substituyendo:

$$VS_D = 2\ 420 \times 0.61 \times 1.03 \times 1.25 \times 0.995 \times 1.00 \times 1.02$$

$VS = 1\ 930 \text{ vph}$

Conclusión:

Los resultados indican que para el nivel de servicio D, los volúmenes de servicio son:

Para condición a) : 1 604 vph con ampliación del acceso y proporcionando carriles especiales para vueltas a la derecha y a la izquierda con indicaciones especiales de luz verde del semáforo.

Para la condición b): 1 930 vph sin ampliación y con una sola indicación de luz verde del semáforo.

Lo anterior demuestra claramente que la adición de carriles especiales para vueltas y la operación con fases múltiples del semáforo, no significa que automáticamente se logre un incremento en los volúmenes de servicio.

Las razones que justifican los resultados anteriores, son las siguientes:

1. La utilización de los carriles disponibles es proporcional a la distribución de la demanda: 28% en el carril derecho, 31% en cada uno de los dos carriles centrales y 10% en el carril izquierdo, Esto trae como consecuencia, el uso desbalanceado del ancho del acceso disponible.
2. Se ha sustraído una parte considerable al tiempo de luz verde del tránsito que sigue de frente, para proporcionar el tiempo necesario para la fase del tránsito que da vuelta a la izquierda; sin embargo, la pérdida de capacidad en los carriles centrales es considerable.



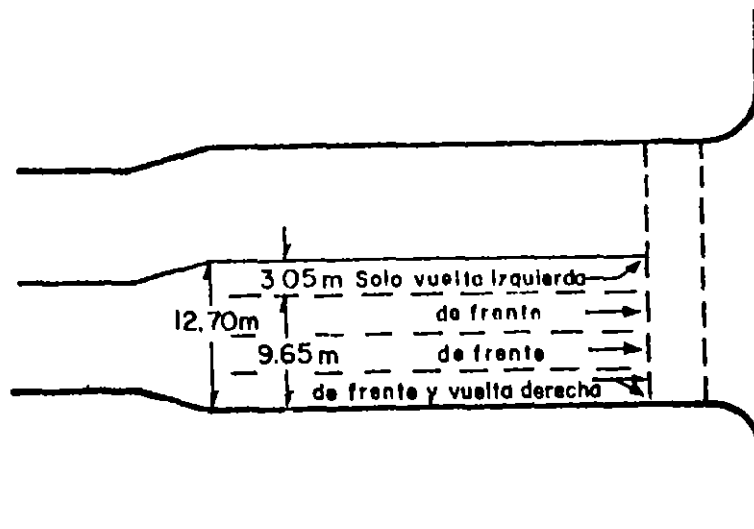
mente mayor que lo que se gana en el carril para vuelta a la izquierda.

3. El carril para vueltas a la izquierda es usado principalmente para almacenamiento en lugar de utilizarse para desalojar el tránsito.

4. El carril para vueltas a la derecha tiene mucho más capacidad que la requerida para satisfacer la demanda de ese movimiento.

En este caso particular es posible, aparentemente, incrementar el volumen de servicio si el carril especial para vueltas a la derecha es utilizado también por los vehículos que siguen de frente, aún cuando tengan que ser eliminadas las vueltas a la derecha durante la indicación de luz verde para vueltas a la izquierda.

En estas condiciones, la operación sería la siguiente:



Volúmenes de servicio al nivel D.

En el carril especial para vueltas a la izquierda, el volumen de servicio es el mismo que para la parte 1 del ejemplo.

Para el resto de los carriles:

$$VS_D = ( V A_{W,FC} ) ( G/C ) ( PAM, FHMD ) ( UC ) ( VC ) ( VI ) ( T ) ( B )$$

$$W = 9.65 \text{ m.}$$

$$FC = 0.7 \text{ ( de la tabla 8 para nivel de servicio)}$$

$$VA_{W,FC} = 2\ 600 \text{ vph de luz verde ( de la figura 5)}$$

$$G/C = 37/90 = 0.41$$

$$PAM, FHMD = 1.03 \text{ ( de la tabla de la figura 5)}$$

$$UC = 1.25 \text{ ( de la tabla de la figura 5)}$$

$$VD = 0.995 \text{ ( de la tabla 5; para 28\%)}$$

$$VI = 1.10 \text{ ( de la tabla 6, para 0\% )}$$

$$T = 1.02 \text{ ( de la tabla 7)}$$

Substituyendo:

$$VS_D = 2\ 600 \times 0.41 \times 1.03 \times 1.25 \times 0.995 \times 1.10 \times 1.02$$

$$VS_D = 1\ 530 \text{ vph}$$

Volúmen de demanda total con base en el porcentaje del tránsito que va de frente y del que da vuelta a la derecha =  $1\ 530/0.90 = 1700 \text{ vph.}$

Vueltas potenciales a la izquierda, suponiendo que el tránsito de -  
frente y el tránsito a la derecha son los que controlan,  $1\ 700 \times 0.10$   
 $= 170$  vph.

Comparando con el volúmen de servicio,  $170 = 170$  , por lo anterior  
la operación es satisfactoria, aunque en el límite. Se deduce, por lo  
tanto, que el acceso podría alojar un volúmen de demanda de  $1\ 530 +$   
 $170 = 1\ 700$  vph

## ANALISIS DE CAPACIDAD Y VOLUMENES DE SERVICIO EN ARTERIAS URBANAS Y SUBURBANAS.

Solución de ejemplos típicos

Ejemplo 1.

A. Datos:

Tramo en una arteria urbana, con intersecciones controladas con se-  
máforo.

Los anchos de las calles se muestran en el croquis.

Banqueta de 1.50 m

Sin estacionamientos.

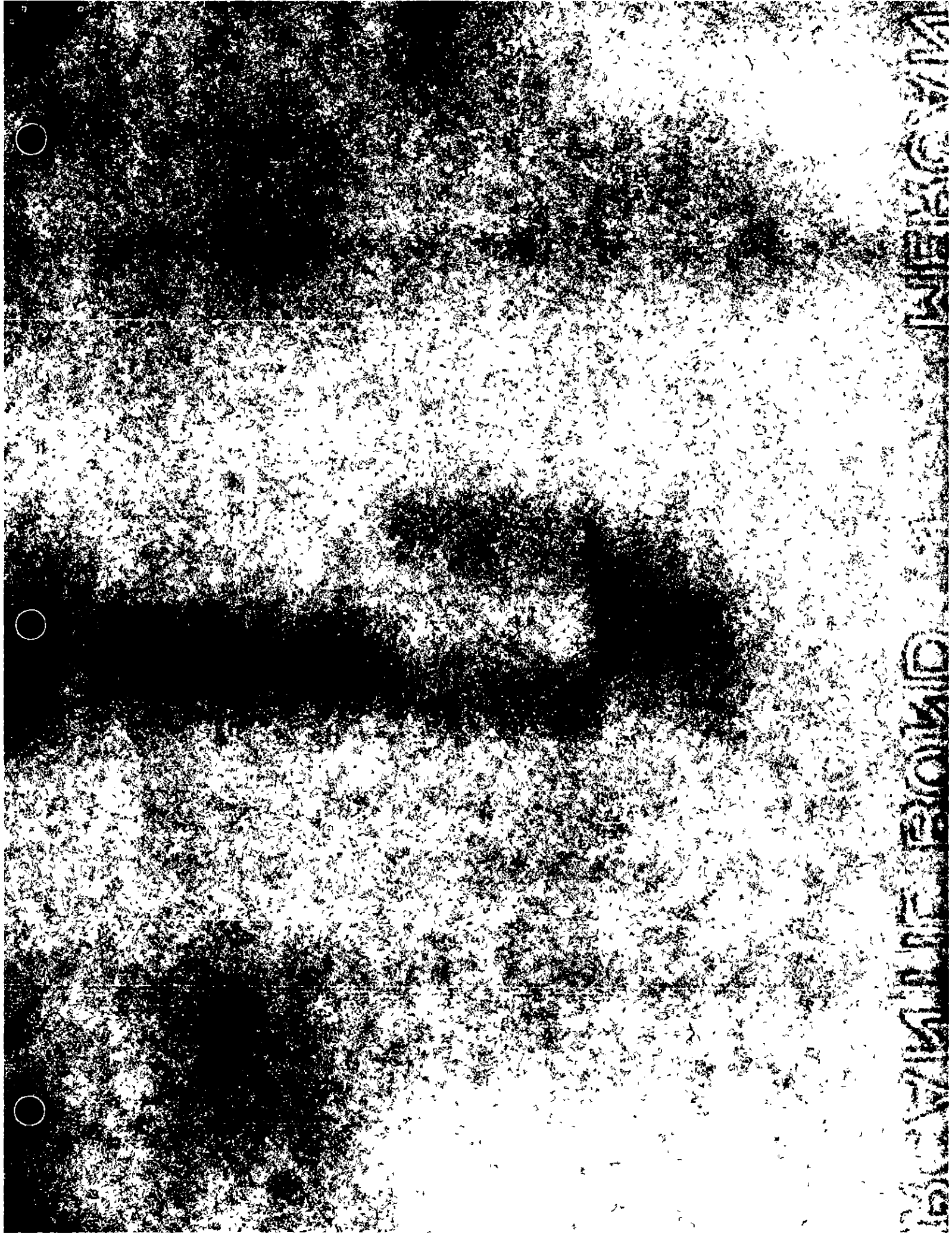
3% de camiones.

30 autobuses urbanos/hora, con parada de autobuses como se muestra  
en el croquis.

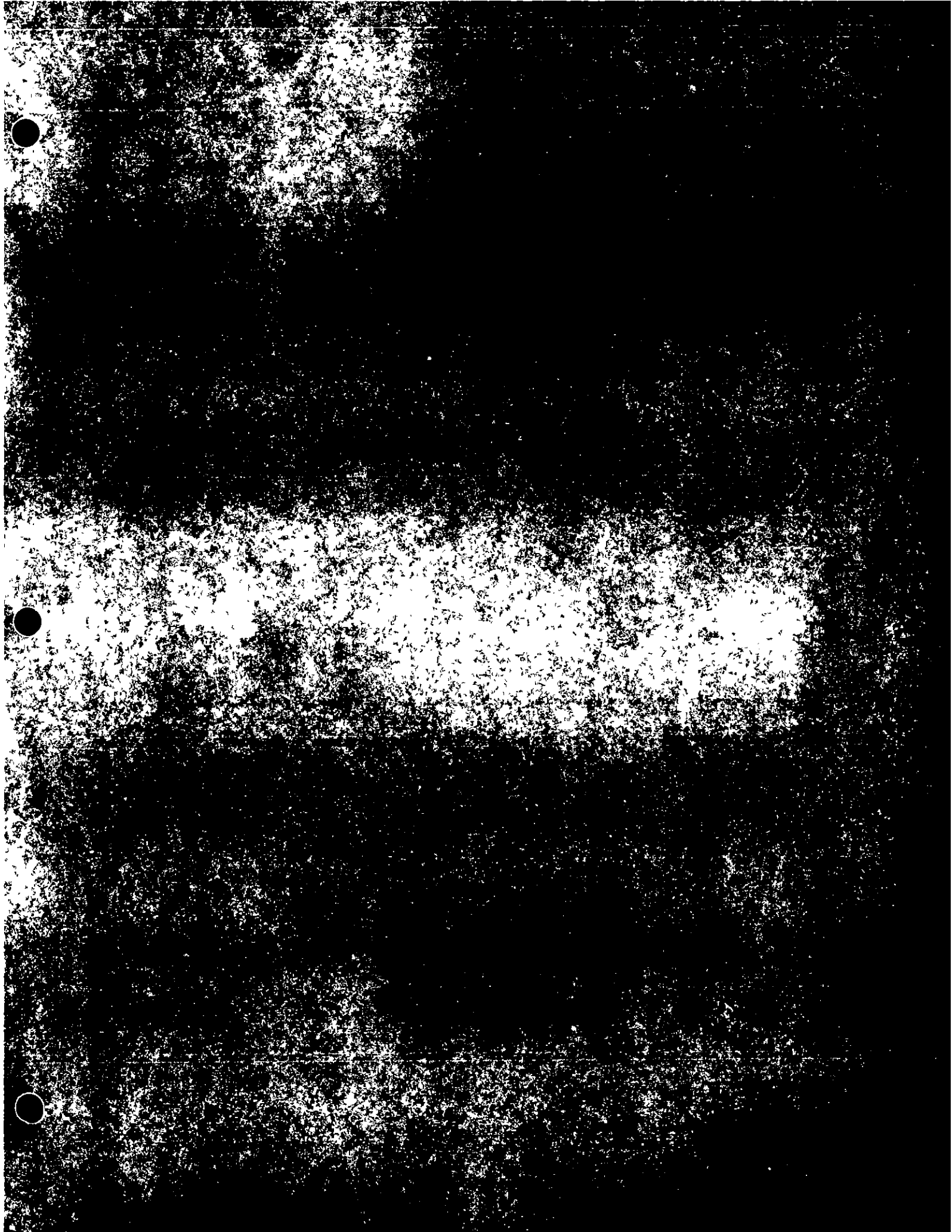
Localización en la zona comercial fuera del centro.

Población = 500 000 habitantes.





WILLIAM L. BOYD



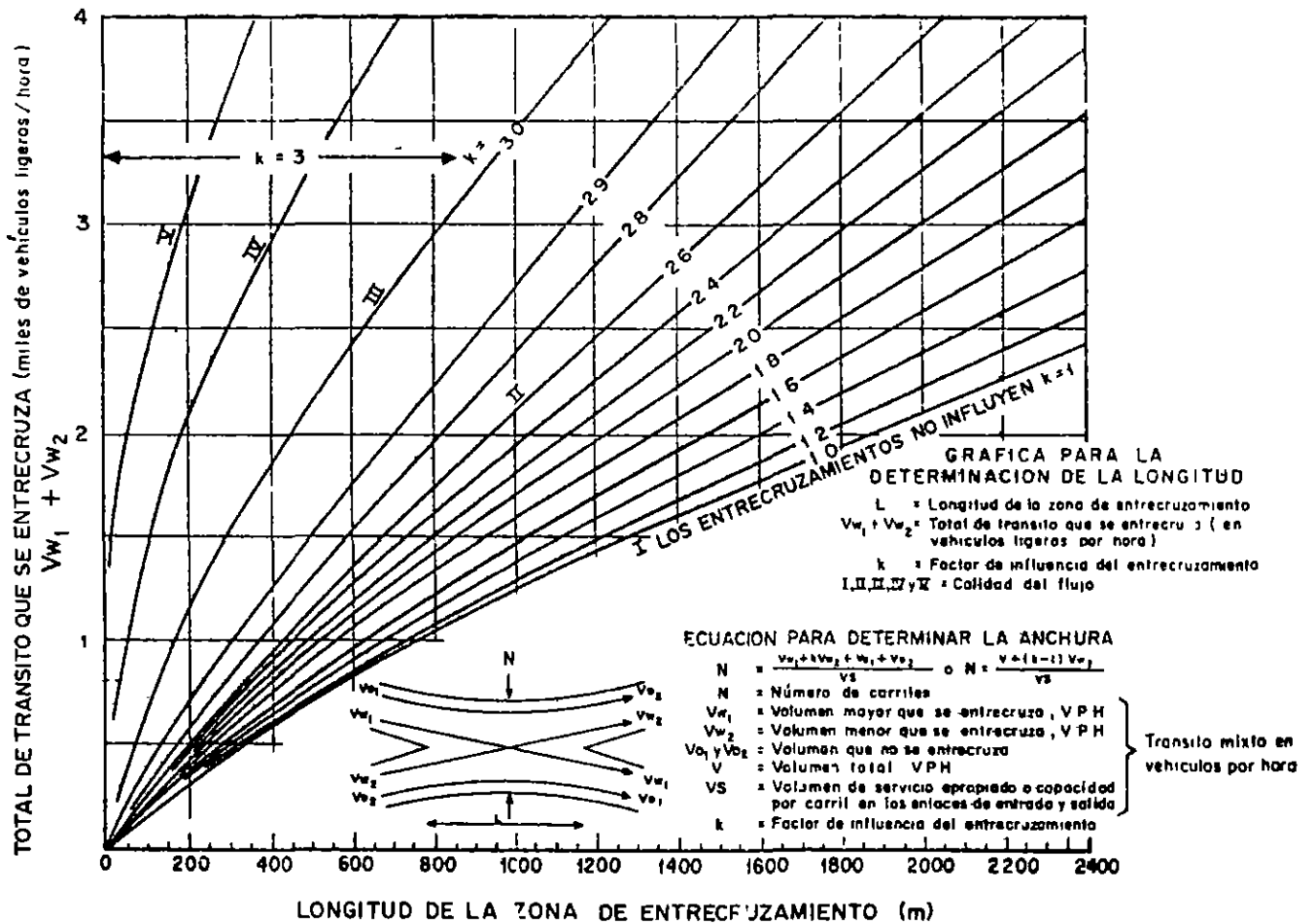
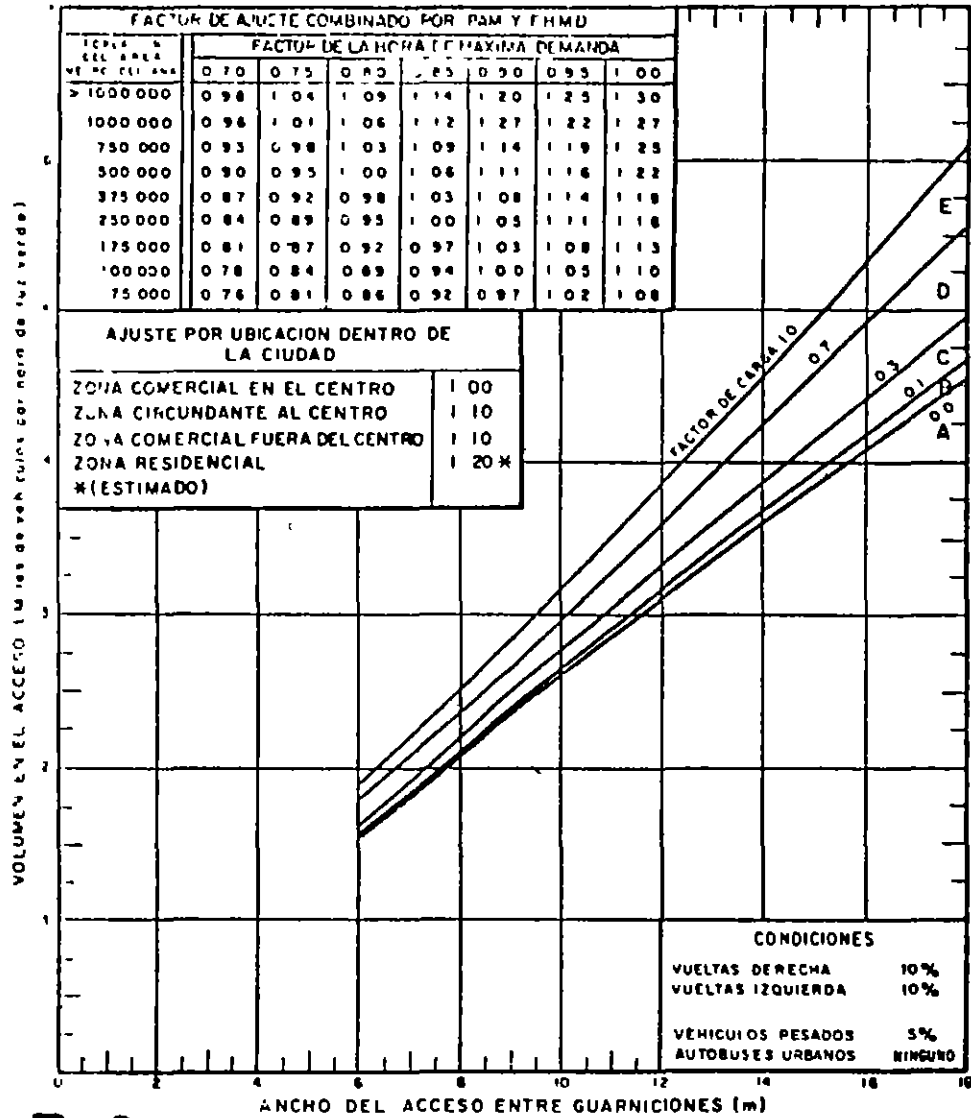


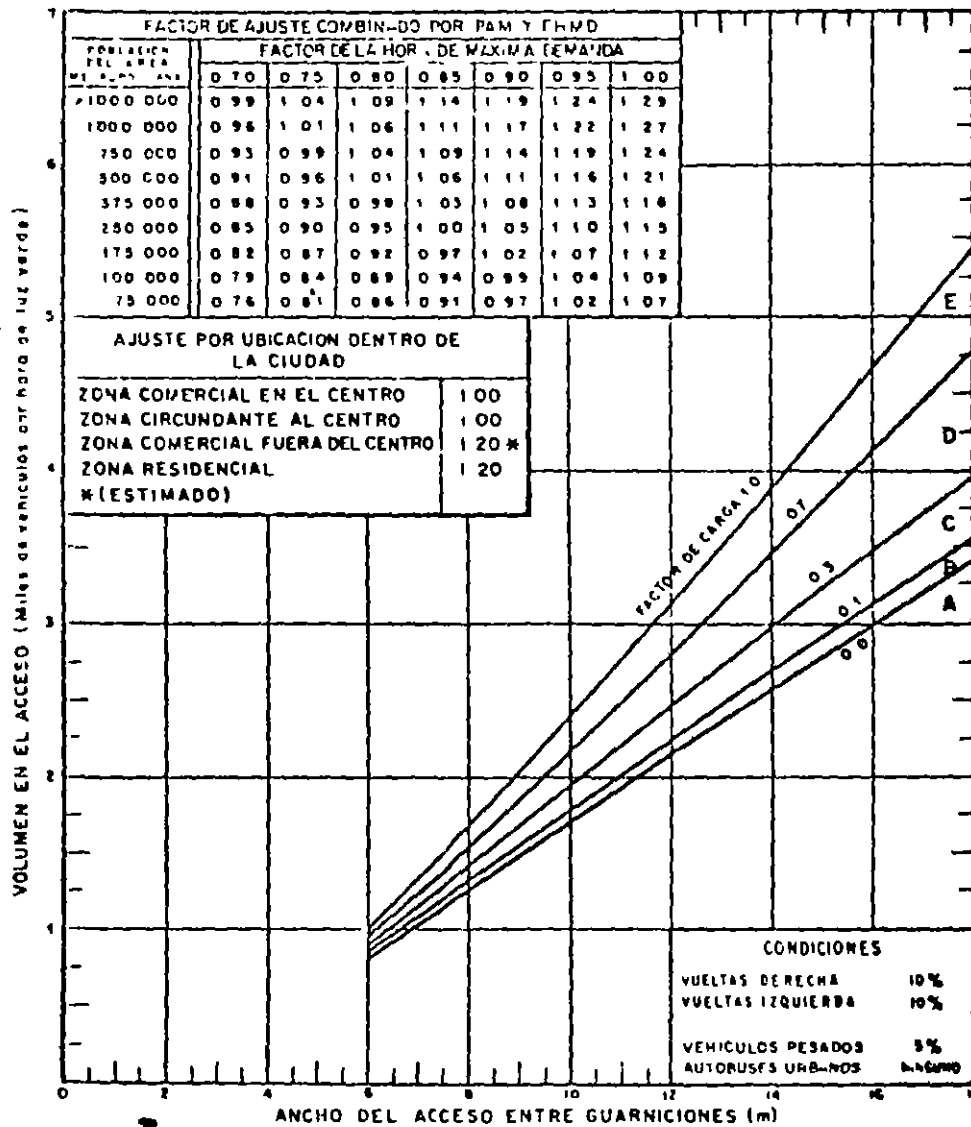
Fig 1 CARACTERISTICA DE OPERACION EN LAS ZONAS DE ENTRECROZAMIENTO



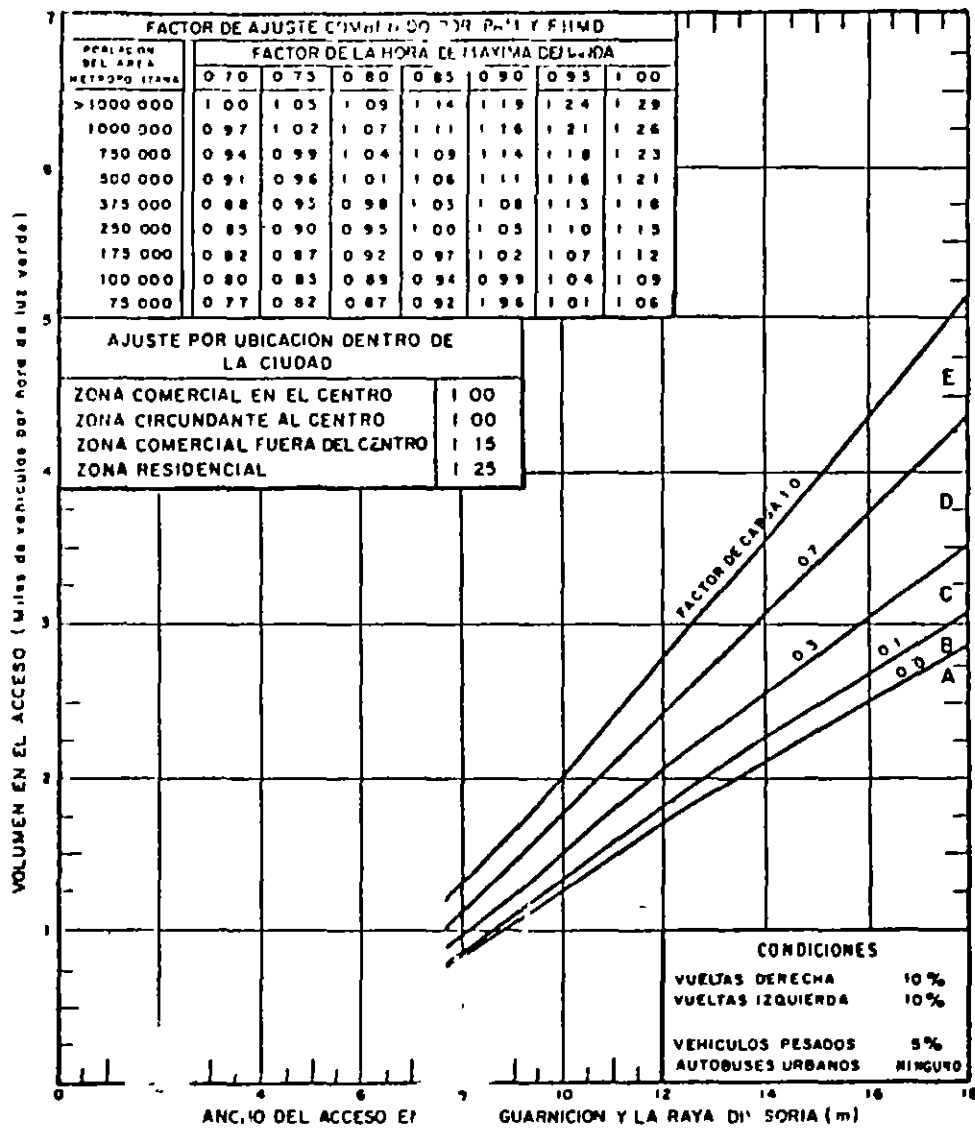
**Fig 2**

**VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE UN SENTIDO DE CIRCULACION SIN ESTACIONAMIENTO**

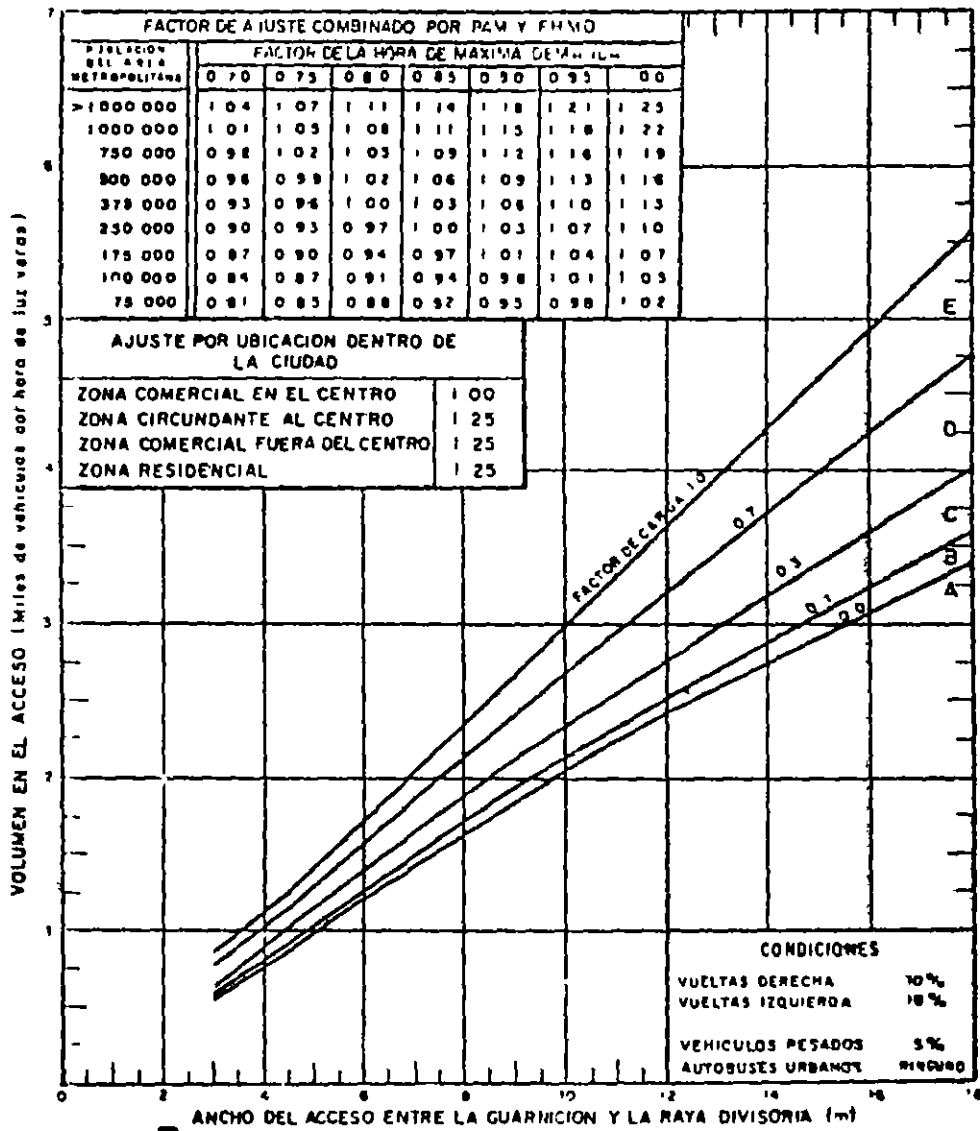




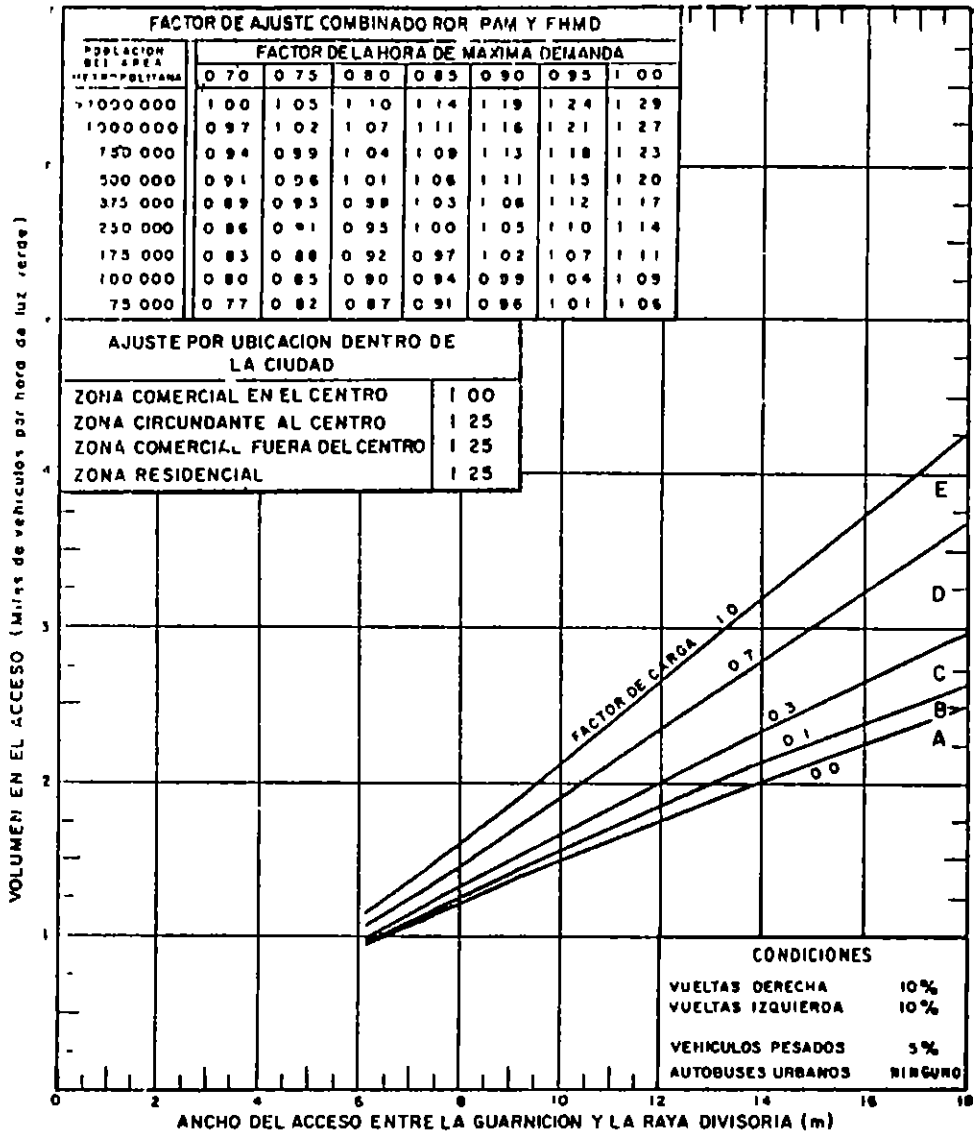
**FIGURA 3** VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA, EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE UN SENTIDO DE CIRCULACION CON ESTACIONAMIENTO EN UN LADO



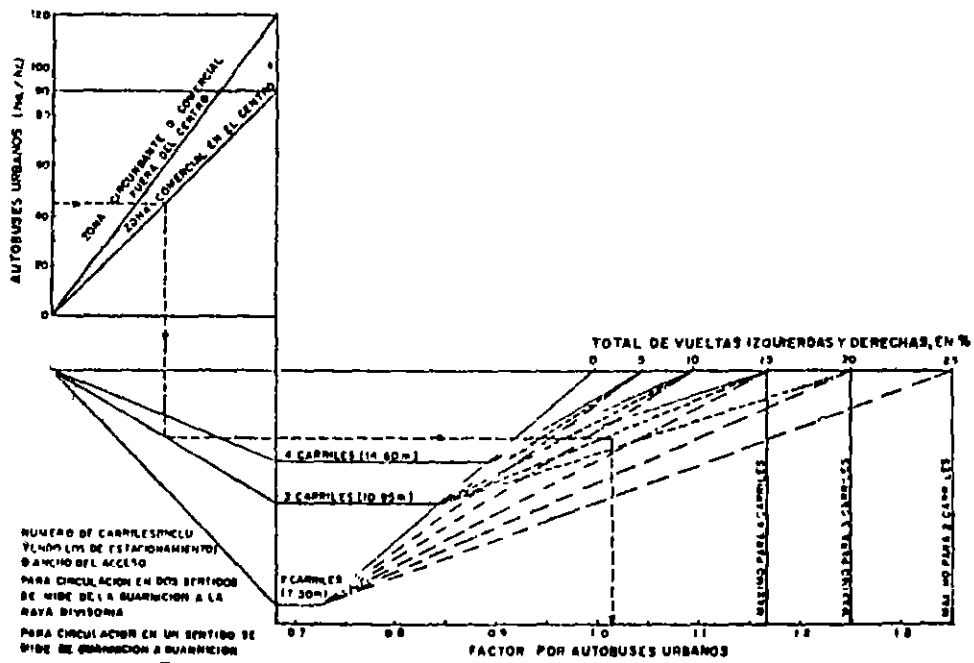
**FIGURA 2. VOLUMEN DE SERVICIO EN EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA, VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE UN SENTIDO Y UN SENTIDAMIENTO EN AMBOS LADOS**



**FIGURA 1** VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA, EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE DOS SENTIDOS DE CIRCULACION SIN ESTACIONAMIENTO



**FIGURA 6 VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA, EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE DOS SENTIDOS DE CIRCULACION CON ESTACIONAMIENTO**



**FIGURA 3 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA ANTES DE CRUZAR LA CALLE Y CON ESTACIONAMIENTO**

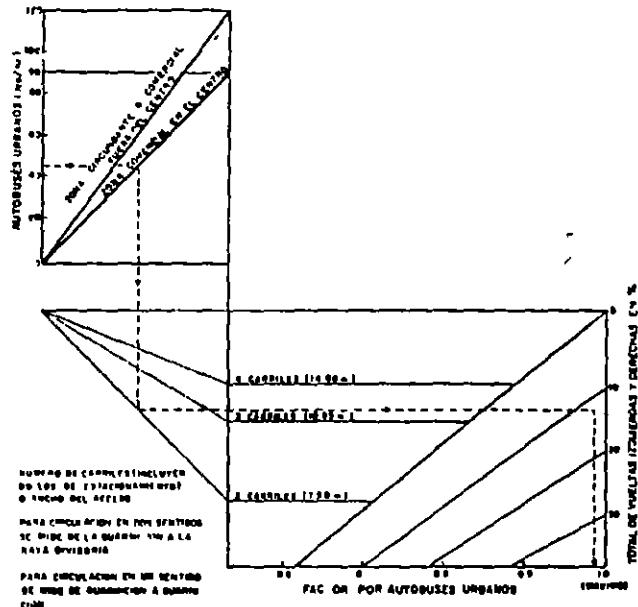


FIGURA **10** FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA DESPUES  
 DE CRUZAR LA CALLE Y CON ESTACIONAMIENTO

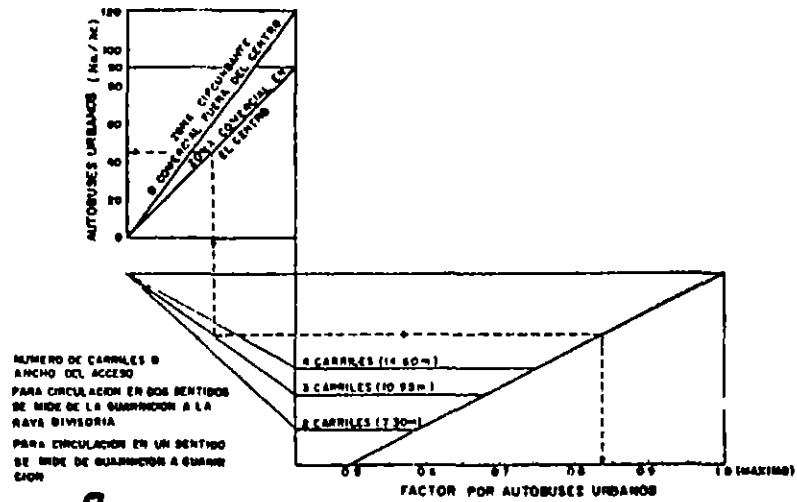
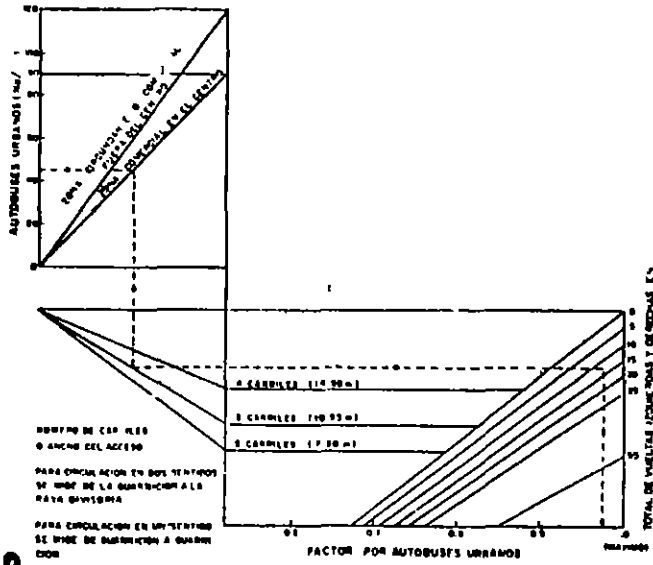


FIGURA 19 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA ANTES DE CRUZAR LA CALLE Y SIN ESTACIONAMIENTO



10 **FIGURA 10 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA DESPUES DE CRUZAR LA CALLE Y SIN ESTACIONAMIENTO**



CALIDAD DE FLUJO (a)				
NIVEL DE SERVICIO	AUTOPISTAS Y CARRETERAS DE CARRILES MÚLTIPLES		EN CAMINOS DE DOS CARRILES	EN ANTERAS UPRANAS Y BIRURDANAS
	En la carretera	En los entronques		
A	I - II	II - III	II	III - IV
B	II	III	II - III	III - IV
C	II - III	III - IV	III	IV
D	III - IV	IV	IV	IV
E (b)	IV - V	V	V	V
F	← - - - - - No satisfactorio (c) - - - - - →			

(a) Representada por las curvas de la Figura 1. Las relaciones abajo de la línea gruesa normalmente no se consideran para proyecto. Cuando aparecen dos valores, el de la izquierda es el deseable y el de la derecha, el mínimo.

(b) Operación a la capacidad.

(c) Volumen máximo, equivalente a la calidad del flujo V pero puede ser mucho más bajo.

TABLA 1

PENDIENTE (%)	LONGITUD DE LA PENDIENTE (KM)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS, E <sub>1</sub>									
		Niveles de servicio entre A y C para					Niveles de servicio D y E para				
		3% CAMIONES	5% CAMIONES	10% CAMIONES	15% CAMIONES	20% CAMIONES	3% CAMIONES	5% CAMIONES	10% CAMIONES	15% CAMIONES	20% CAMIONES
0-1	TODAS	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0.4-0.8	5	4	4	3	3	5	4	4	3	3
	1.2-1.6	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4
	2.4-3.2	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	4.8-6.4	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
3	0.4	10	8	5	4	3	10	8	5	4	3
	0.8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4
	1.2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5
	1.6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6
	2.4	10	9	7	7	7	10	8	7	7	7
	3.2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8
4	0.4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	0.8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	1.2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	1.6	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
	2.4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	3.2	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
5	0.4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0.8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7
	1.2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8
	1.6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10
	2.4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13
	3.2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15
6	0.4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3
	0.8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8
	1.2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10
	1.6	14	13	12	12	11	15	14	13	13	11
	2.4	14	14	14	14	13	15	16	15	15	14
	3.2	14	15	16	16	15	15	18	18	18	16
4.8	4.8	14	16	18	18	17	15	20	20	20	19
	6.4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23

EQUIVALENCIAS DE VEHICULOS LIGEROS POR CAMION, PARA SUBTRAMOS  
 O PENDIENTES ESPECIFICAS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS  
 DE CARRILES MULTIPLES

TABLA 2



CURVA DE LA CALIDAD DEL FLUJO	VALOR MAXIMO DE VS POR CARRIL — Vehiculos ligeros por hora
I	2 000
II	1 900
III	1 800
IV	1 700
V	1 600

TABLA 4 RELACION ENTRE LA CALIDAD DEL FLUJO Y EL VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO POR CARRIL, EN ZONAS DE ENTRECruzAMIENTO

VUELTAS <sup>b</sup> %	FACTOR DE AJUSTE <sup>a</sup>					
	SIN ESTACIONAMIENTO <sup>c</sup>			CON ESTACIONAMIENTO <sup>d</sup>		
	ANCHO DEL ACCESO ≤ 4.50m	ANCHO DEL ACCESO 500 a 750m	ANCHO DEL ACCESO 800 a 1050m	ANCHO DEL ACCESO ≤ 6.00m	ANCHO DEL ACCESO 650 a 9.00m	ANCHO DEL ACCESO 9.50 a 12.00m
0	1.20	1.050	1.025	1.20	1.050	1.025
1	1.18	1.045	1.020	1.18	1.045	1.020
2	1.16	1.040	1.020	1.16	1.040	1.020
3	1.14	1.035	1.015	1.14	1.035	1.015
4	1.12	1.030	1.015	1.12	1.030	1.015
5	1.10	1.025	1.010	1.10	1.025	1.010
6	1.08	1.020	1.010	1.08	1.020	1.010
7	1.06	1.015	1.005	1.06	1.015	1.005
8	1.04	1.010	1.005	1.04	1.010	1.005
9	1.02	1.005	1.000	1.02	1.005	1.000
10	1.00	1.000	1.000	1.00	1.000	1.000
11	0.99	0.995	1.000	0.99	0.995	1.000
12	0.98	0.990	0.995	0.98	0.990	0.995
13	0.97	0.985	0.995	0.97	0.985	0.995
14	0.96	0.980	0.990	0.96	0.980	0.990
15	0.95	0.975	0.990	0.95	0.975	0.990
16	0.94	0.970	0.985	0.94	0.970	0.985
17	0.93	0.965	0.985	0.93	0.965	0.985
18	0.92	0.960	0.980	0.92	0.960	0.980
19	0.91	0.955	0.980	0.91	0.955	0.980
20	0.90	0.950	0.975	0.90	0.950	0.975
22	0.89	0.940	0.980	0.89	0.940	0.980
24	0.88	0.930	0.985	0.88	0.930	0.985
26	0.87	0.920	0.990	0.87	0.920	0.990
28	0.86	0.910	0.995	0.86	0.910	0.995
30 o más	0.85	0.900	1.000	0.85	0.900	1.000

- a) Sin carriles especiales para vueltas o indicaciones especiales del semáforo  
b) Considerense las vueltas a la derecha y a la izquierda separadamente. No se sumen.  
c) No es necesario el ajuste para anchos del acceso mayores de 10.50 m.  
d) No es necesario el ajuste para anchos del acceso mayores de 12.00 m.

**TABLA 5 FACTORES DE AJUSTE POR VUELTAS A LA DERECHA EN CALLES DE DOS SENTIDOS, VUELTAS A LA DERECHA EN CALLES DE UN SENTIDO Y VUELTAS A LA IZQUIERDA EN CALLES DE UN SENTIDO**

VUELTAS %	FACTOR DE AJUSTE <sup>a</sup>					
	SIN ESTACIONAMIENTO			CON ESTACIONAMIENTO		
	ANCHO DEL ACCESO ≤ 4.50m	ANCHO DEL ACCESO 5.00 a 10.50m	ANCHO DEL ACCESO ≥ 11.00m	ANCHO DEL ACCESO ≤ 6.00m	ANCHO DEL ACCESO 6.50 a 12.00m	ANCHO DEL ACCESO ≥ 12.50m
0	1.30	1.10	1.050	1.30	1.10	1.050
1	1.27	1.09	1.045	1.27	1.09	1.045
2	1.24	1.08	1.040	1.24	1.08	1.040
3	1.21	1.07	1.035	1.21	1.07	1.035
4	1.18	1.06	1.030	1.18	1.06	1.030
5	1.15	1.05	1.025	1.15	1.05	1.025
6	1.12	1.04	1.020	1.12	1.04	1.020
7	1.09	1.03	1.015	1.09	1.03	1.015
8	1.06	1.02	1.010	1.06	1.02	1.010
9	1.03	1.01	1.005	1.03	1.01	1.005
10	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000
11	0.98	0.99	0.995	0.98	0.99	0.995
12	0.96	0.98	0.990	0.96	0.98	0.990
13	0.94	0.97	0.985	0.94	0.97	0.985
14	0.92	0.96	0.980	0.92	0.96	0.980
15	0.90	0.95	0.975	0.90	0.95	0.975
16	0.89	0.94	0.970	0.89	0.94	0.970
17	0.88	0.93	0.965	0.88	0.93	0.965
18	0.87	0.92	0.960	0.87	0.92	0.960
19	0.86	0.91	0.955	0.86	0.91	0.955
20	0.85	0.90	0.950	0.85	0.90	0.950
22	0.84	0.89	0.940	0.84	0.89	0.940
24	0.83	0.88	0.930	0.83	0.88	0.930
26	0.82	0.87	0.920	0.82	0.87	0.920
28	0.81	0.86	0.910	0.81	0.86	0.910
30 o más	0.80	0.85	0.900	0.80	0.85	0.900

a) Sin carriles especiales para vueltas o indicaciones especiales del semáforo

TABLA 6. FACTORES DE AJUSTE POR VUELTAS A LA IZQUIERDA EN CALLES DE DOS SENTIDOS

CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS %	FACTOR DE AJUSTE	CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS %	FACTOR DE AJUSTE	CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS %	FACTOR DE AJUSTE
0	1 05	7	0 98	14	0 91
1	1 04	8	0 97	15	0 90
2	1 03	9	0 96	16	0 89
3	1 02	10	0 95	17	0 88
4	1 01	11	0 94	18	0 87
5	1 00	12	0 93	19	0 86
6	0 99	13	0 92	20	0 85

TABLA 3 FACTORES DE AJUSTE POR CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN	FACTOR DE CARGA
A	Libre	0 0
B	Estable	0 1
C	Estable	0 3
D	Poco estable	0 7
E (capacidad)	Inestable	1 0
F	Forzada	No aplicable

TABLA 3 NIVELES DE SERVICIO Y FACTORES DE CARGA PARA INTERSECCIONES A NIVEL AISLADAS, CONTROLADAS CON SEMAFORO



NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO			VOLUMEN DE SERVICIO-CAPACIDAD <sup>a, b</sup> (v/c)	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD GLOBAL <sup>a</sup> (km/hora)	FACTOR DE CARGA <sup>a</sup>		FACTOR DE LA HORA DE MAXIMA DEMANDA <sup>b</sup>
A	FLUJO LIBRE	≥ 50	0.0	≥ 0.70	≥ 0.60 (0.80)
B	FLUJO ESTABLE	≥ 40	≥ 0.1	≥ 0.80	≥ 0.70 (0.85)
C	FLUJO ESTABLE	≥ 30	≥ 0.3	≥ 0.85	≥ 0.80 (0.90)
D	APROXIMANDOSE AL FLUJO INESTABLE	≥ 20	≥ 0.7	≥ 0.90	≥ 0.90 (0.95)
E <sup>d</sup>	FLUJO INESTABLE	20	≥ 1.0 (0.85) <sup>c</sup>	≥ 0.95	≥ 1.00
F	FLUJO FORZADO	< 20	No Significativo	No Significativo	No Significativo <sup>e</sup>

a - La velocidad global y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio, deben satisfacerse ambos límites en cualquier determinación de niveles de servicio, con la debida consideración al hecho de que estos son racionalizaciones en su mayor parte. El factor de carga que es una medida de nivel de servicio en intersecciones, puede usarse como criterio complementario cuando sea necesario.

b - Los valores entre paréntesis se refieren a una progresión casi perfecta.

c - Un factor de carga de 1.00 no se encuentra con frecuencia, aún bajo condiciones de operación a la capacidad, debido a las fluctuaciones inherentes al flujo de tránsito.

d - Capacidad.

e - La relación volumen de demanda-capacidad pueda exceder 1.00, indicando sobrecarga.

TABLA NIVELES DE SERVICIO PARA CALLES URBANAS Y SUBURBANAS

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD GLOBAL (km/h)
A	Flujo libre	$\geq 40$
B	Flujo estable	$\geq 30$
C	Flujo estable	$\geq 25$
D	Aproximándose al flujo inestable	$\geq 15$
E <sup>a</sup>	Flujo inestable	Menor que 15
F	Flujo forzado	Paradas frecuentes

a) El nivel E para la calle en su conjunto, no puede considerarse como capacidad, la capacidad está gobernada por la de las intersecciones críticas o por la de otras interrupciones

10  
 TABLA 10. NIVELES DE SERVICIO PARA CALLES DEL CENTRO DE LA CIUDAD

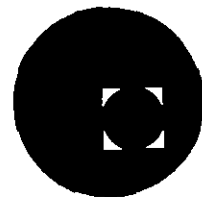
## BIBLIOGRAFIA

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras  
Edición 1974. Secretaría de Obras Públicas.





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



P R O B L E M A S  
D E  
C A P A C I D A D



Ing. José Mirabent González Jáuregui

Palacio de Minería  
Tacuba 5, primer piso México 1, D. F.  
Tels. 521-40-23 521-73-35 512-31-23



Factor de la hora de máxima demanda = 0.85.

Interferencia de peatones: despreciable.

Características de las intersecciones y movimiento de vuelta (ver croquis)

Los tiempos de recorrido indican una velocidad global de 30 Km/h.

Los volúmenes de demanda que se muestran en el croquis, sólo indican el flujo en un sentido.

B. Determinése:

1. El nivel de servicio general correspondiente a la velocidad global de 30 km/h.
2. El nivel de servicio por restricciones en las intersecciones y a mitad de la cuadra.

C. Solución:

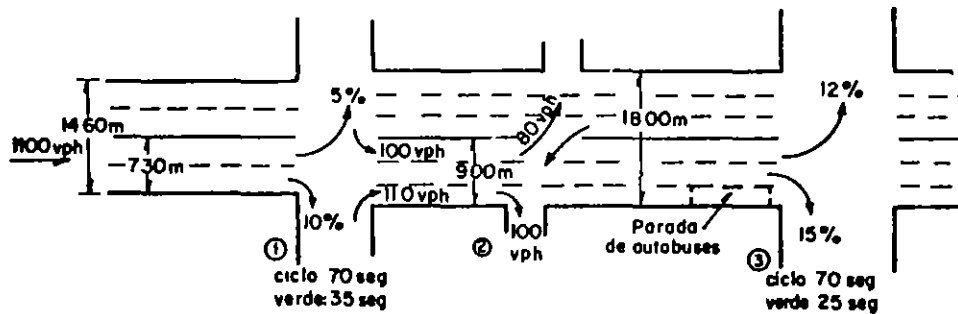
1.- De la tabla 9, para una velocidad global de 30 km/h, el nivel de servicio es C, en el límite con el nivel de servicio D.

2 En el croquis se observa que la intersección 1, el área a la entrada del lote de estacionamiento 2 y la intersección 3, son los elementos principales de control de la capacidad.

Nivel de servicio en la intersección 1:

Para el cálculo de nivel de servicio es necesario determinar primero, el volúmen por hora de luz verde.

$$V_{A W, F C} = \frac{V S \text{ ( volumen de demanda )}}{(G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)}$$



Para propósitos prácticos, los vehículos esperando para entrar al estacionamiento, bloquean continuamente el carril de la derecha y el de la izquierda. El carril del centro es bloqueado por los vehículos en sentido opuesto que entran al estacionamiento, durante el 30% de la hora.

287

$$V S = 1\ 100 \text{ vph ( demanda en el acceso)}$$

$$G/C = 35 / 70 = 0.50$$

$$PAM, FHMD = 1.06 \text{ ( de la tabla de la figura 5)}$$

$$UC = 1.25 \text{ ( de la tabla de la figura 5)}$$

$$VD = 1.00 \text{ ( de la tabla 5)}$$

$$V I = 1.05 \text{ ( de la tabla 6)}$$



Debido a que no existe parada de autobuses, los autobuses urbanos pueden considerarse como vehículos pesados, y sumarse al porcentaje de vehículos dado como dato en el ejemplo.

$$\text{Autobuses} = \frac{30}{1\ 100} = 2.7\% = 3\%, \text{ por lo que:}$$

Total de vehículos pesados = 3% + 3% = 6%, el factor de ajuste correspondientes es:

$$T = 0.99 \text{ ( de la tabla 7 )}$$

Substituyendo:

$$VA_{W, FC} = \frac{1\ 100}{0.50 \times 1.06 \times 1.25 \times 1.00 \times 1.05 \times 0.99}$$

$$VA_{W, FC} = 1\ 597 \text{ vph de luz verde}$$

Entrando a la gráfica de la Figura 5 con el volumen por hora de luz verde antes calculado y con el ancho del acceso en metros, se obtiene un factor de carga  $FC = 0.15$ , el cual corresponde a un nivel de servicio C.

De la misma figura 5 se obtiene que el volumen por hora de luz verde al nivel de servicio E, (capacidad) es de 2 100 vph, por lo que:

$$\frac{v}{c} = \frac{1\ 597}{2\ 100} = 0.76$$

De la tabla 9, se concluye que la operación corresponde a un nivel de servicio C.

Nivel de servicio en el área a la entrada del lote de estacionamiento 2.

Debido a que los movimientos de vuelta izquierda para entrar al lote de estacionamiento, obstruyen al tránsito que va de paso, la circulación se ve sujeta a continuas paradas, tal como sucede en una intersección controlada con semáforo

Supóngase, por lo tanto, que se trata de una intersección controlada con semáforo, sin movimientos de vuelta, ancho del acceso de 3.00 m, sin estacionamiento y 70% de luz verde ( 100 - 30 ).

$$V_{A W, FC} = \frac{VS \text{ (Volumen de demanda)}}{(G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)}$$

$$VS = 1\ 100 - 1\ 100 ( 0.10 + 0.05) + 100 + 110$$

$$VS = 1\ 145 \text{ vph}$$

$$G/C = 0.70 \text{ ( se considera que el tránsito sólo sufre interrupciones durante 30\% del tiempo)}$$

$$PAM, FHMD = 1.06 \text{ ( de la tabla de la Figura 5)}$$

$$UC = 1.25 \text{ ( de la tabla de la Figura 5)}$$

$$VD = 1.20 \text{ ( de la tabla 5)}$$

$$VI = 1.30 \text{ ( de la tabla 6)}$$

$$T = 0.99 \text{ ( de la tabla 7)}$$

Substituyendo:

$$VA_{W, FC} = \frac{1\ 145}{0.70 \times 1.06 \times 1.25 \times 1.20 \times 1.30 \times 0.99} = 800 \text{ vph de luz verde}$$

Entrando a la gráfica de la Figura 5 con el volumen por hora de luz verde ante calculado y con el ancho del acceso en metros, se obtiene un factor de carga de 0.9, el cual corresponde a un nivel de servicio E y por consiguiente, el área a la entrada del lote de estacionamiento operará a la capacidad.

Nivel de servicio en la intersección 3:

$$VA_{W, FC} = \frac{VS \text{ (volumen de demanda)}}{(G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)}$$

$$VS = 1\ 145 - 100 - 80 = 965 \text{ vph}$$

$$G/C = 25/70 = 0.36$$

PAM, FHMD = 1.06 ( de la tabla de la Figura 5)

UC = 1.25 ( de la Tabla de la Figura 5)

VD = 0.99 ( de la tabla 5)

VI = 0.98 ( de la tabla 6)

T = 1.02 ( de la Tabla 7 para 3% de vehículos pesados)

B = 0.91 ( de la Figura 9)

Substituyendo:

$$VA_{W, FC} = \frac{965}{0.36 \times 1.06 \times 1.25 \times 0.99 \times 0.98 \times 1.02 \times 0.91}$$

$$VA_{W,FC} = 2\ 246 \text{ vph de luz verde.}$$

Entrando a la gráfica de la Figura 5 con el volúmen por hora de luz verde antes calculado y con el ancho del acceso en metros, se obtiene un factor de carga de 0.5, el cual corresponde a un nivel de servicio D.

De la misma Figura 5 se obtiene que el volúmen por hora de luz verde a la capacidad es de 2 700 vph, por lo que:

$$\frac{v}{c} = \frac{2\ 246}{2\ 700} = 0.83$$

Examinando la tabla 9, se concluye que la operación corresponde a un nivel de servicio D

#### Conclusión:

La arteria en su conjunto tiene una operación cercana al nivel de servicio D, en tanto que las intersecciones 1 y 3 operan niveles de servicio C y D, respectivamente. Sin embargo, el área en la entrada de los estacionamientos a la mitad de la cuadra es un punto serio de interferencia, siendo esta área la que controla la capacidad en esta parte de la arteria.

# ANALISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN LAS CALLES DE LA ZONA COMERCIAL DEL CENTRO DE LA CIUDAD.

Solución de ejemplos típicos.

Ejemplo 1.

A. Datos:

Tramo de calle con dos sentidos de circulación, localizado en la zona comercial del centro de la ciudad, en el que existen 4 intersecciones controladas con semáforo.

Los volúmenes de demanda y las características de operación en las intersecciones, se muestran en el croquis.

Estacionamiento en ambos lados.

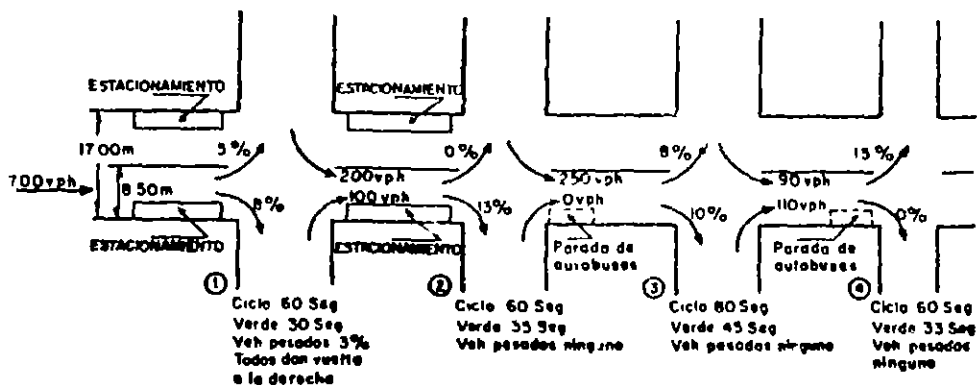
Ancho de la calle = 17.00 m de guarnición a guarnición.

Población del área metropolitana = 175 000 habitantes.

Factor de la hora de máxima demanda = 0.85.

Autobuses urbanos = 40/hora.

Vehículos pesados ( ver croquis)



B. Determinése.

1. El nivel de servicio que proporciona el tramo de calle, si los recorridos indican una velocidad global de 23 km/h.
2. El volúmen de servicio en los accesos a las intersecciones, para el nivel de servicio obtenido en el punto anterior.
3. La intersección que controla la operación, de acuerdo con los volúmenes de demanda indicados.

C. Solución

1. De la tabla 10, para una velocidad global de 23 km/h, el nivel de servicio es D.
2. Volúmen de servicio al nivel de servicio D.

Intersección 1:

$$VS_D = (VA_{W, FC}) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

$$W = 8.50 \text{ m.}$$

$$FC = 0.7 \text{ ( de la tabla 8, para nivel de servicio D)}$$

$$VA_{W, FC} = 1550 \text{ vph de luz verde ( de la Figura 6)}$$

$$G/C = 30/60 = 0.50$$

$$PAM, FHMD = 0.97 \text{ ( de la tabla de la Figura 6)}$$

$$UC = 1.00 \text{ ( de la tabla de la Figura 6)}$$

Como todos los vehículos pesados dan vuelta a la derecha, son necesarias ciertas consideraciones especiales: Si  $3/8$  de las vueltas son vehículos pesados y  $5/8$  son vehículos ligeros y se considera que dos vehículos ligeros equivalen a un pesado, se tiene:

$5/8 \times 1 + 3/8 \times 2 = 11/8$ , es decir, 11% de vehículos equivalentes dan la vuelta a la derecha, por lo que:

$$VD = 0.995 \text{ ( de la tabla 5)}$$

$$VI = 1.05 \text{ ( de la tabla 6)}$$

Como no hay parada de autobuses, consideréanse a los 40 autobuses urbanos por hora como un porcentaje respecto al volumen de servicio, calculado con los factores de ajuste obtenidos anteriormente, es decir:

$$VS = 1\,550 \times 0.50 \times 0.97 \times 1.00 \times 0.995 \times 1.05 = 785 \text{ vph}$$

$$40/785 = 5.1 = 5\%$$

% total de vehículos pesados = 3% (vehículos pesados que dan vuelta a la derecha) + 5% (autobuses urbanos considerados como camiones) = 8%.

El factor de ajuste será por consiguiente:

$$T = 0.97 \text{ ( de la tabla 7)}$$

Substituyendo:

$$VS_D = 785 \times 0.97 = 761 \text{ vph}$$

Intersección 2:

$$VS_D = (VA_{W, FC}) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

$$W = 8.50 \text{ m}$$

$$FC = 0.7 \text{ ( de la tabla 8, para nivel de servicio D)}$$

$$VA_{W, FC} = 1550 \text{ vph de luz verde ( de la Figura 6).}$$

$$G/C = 35/60 = 0.58$$

$$PAM, FHMD = 0.97 \text{ ( de la tabla de la Figura 6)}$$

$$UC = 1.00 \text{ ( de la tabla de la Figura 6)}$$

$$VD = 0.985 \text{ (De la tabla 5)}$$

$$VI = 1.10 \text{ ( de la tabla 6)}$$

$$T = 1.05 \text{ ( de la tabla 7, para 0% de camiones)}$$

$$B = 1.00 \text{ ( de la Figura 8)}$$

Substituyendo:

$$VS_D = 1550 \times 0.58 \times 0.97 \times 1.00 \times 0.985 \times 1.10 \times 1.05 \times 1.00$$

$$VS_D = 992 \text{ vph}$$

Intersección 3:

$$VS_D = (VA_{W, FC}) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

$$W = 8.50 \text{ m}$$

$$FC = 0.7 \text{ ( de la tabla 8, para nivel de servicio D)}$$



$$VA_{W,FC} = 2\ 250 \text{ vph de luz verde ( de la Figura 5)}$$

$$G/C = 45/80 = 0.56$$

$$PAM, FHMD = 0.97 \text{ ( de la tabla de la Figura 5)}$$

$$UC = 1.00 \text{ ( de la tabla de la Figura 5)}$$

$$VD = 1.00 \text{ ( de la tabla 5)}$$

$$VI = 1.02 \text{ ( de la tabla 6)}$$

Siguiendo el mismo criterio que para el análisis de la intersección 1, es decir, considerando a los 40 autobuses urbanos por hora como un porcentaje del volumen de servicio calculado con los factores anteriores, se obtiene el 3% de vehículos pesados, por lo que el factor de ajuste será:

$$T = 1.02 \text{ ( de la tabla 7)}$$

Substituyendo:

$$VS_D = 2\ 250 \times 0.56 \times 0.97 \times 1.00 \times 1.00 \times 1.02 \times 1.02$$

$$VS_D = 1\ 272 \text{ vph}$$

Intersección 4:

$$VS_D = ( Va_{W,FC} ) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

$$W = 8.50 \text{ m}$$

$$FC = 0.7 \text{ ( de la tabla 8, para nivel de servicio D)}$$

$$VA_{W,FC} = 2\ 250 \text{ vph de luz verde ( de la Figura 5)}$$

$$G/C = 33/60 = 0.55$$

PAM, FHMD = 0.97 ( de la tabla de la Figura 5)

UC = 1.00 ( de la tabla de la Figura 5)

VD = 1.025 ( de la tabla 5)

VI = 0.95 ( de la tabla 6)

T = 1.05 ( de la tabla 7, para 0% de camiones)

B = 0.82 (de la figura 9)

Substituyendo:

$$VS_D = 2\ 250 \times 0.55 \times 0.97 \times 1.00 \times 1.025 \times 0.95 \times 1.05 \times 0.82$$

$$VS_D = 1\ 006 \text{ vph}$$

3. Intersección que controla la operación:

Volúmenes de servicio al nivel D.

Intersección 1) 761 vph  
2) 992 vph  
3) 1 272 vph  
4) 1 006 vph

De acuerdo con lo anterior, la intersección 1 parecer ser la que controla la operación, sin embargo, es necesaria una comparación de los volúmenes de demanda, antes de sacar las conclusiones finales.

Intersección 1:

$$700 \text{ vph} < 761 \text{ vph } (VS_D) \text{ (satisfactorio)}$$

Intersección 2:

$$700 - 700 ( 0.05 + 0.08 ) + 300 = 909 \text{ vph} < 992 \text{ vph (VS}_D\text{)} \text{ (satisfactorio)}$$

Intersección 3:

$$909 - 909 (0.13) + 250 = 1\,041 \text{ vph} < 1\,272 \text{ vph (VS}_D\text{)} \text{ (satisfactorio)}$$

Intersección 4:

$$1\,041 - 1\,041 (0.18) + 200 = 1\,504 \text{ vph} < 1\,006 \text{ vph (VS}_D\text{)} \text{ (no satisfactorio)}$$

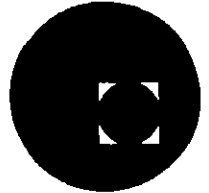
Conclusión:

Aún cuando en un principio y basándose en los volúmenes de servicio únicamente, parecía que la intersección 1 era la que controlaba, el análisis demuestra que bajo las condiciones de volúmenes de demanda que se tienen, la intersección 4 es realmente la más crítica. Esta intersección alcanzará primero la capacidad y su efecto repercutirá en otros puntos del tramo analizado.





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



ING. JORGE SUAREZ RUELAS

México, D.F.

Enero de 1976.

Palacio de Minería  
Tacuba 5, primer piso México 1, D.F.  
Tels.: 521-40-23, 521-73-35 512-31-23



VARIABLES IMPORTANTES QUE INFLUYEN EN LA GENERACION DE LOS VIAJES.

1.- NIVEL DE MÓTORIZACION.

2.- NIVEL DE RENTA.

3.- NIVEL PROFESIONAL.

4.- DISTANCIA AL CENTRO.

5.- DENSIDAD DE POBLACION.

6.- POBLACION ACTIVA.

7.- DISPONIBILIDAD DE MEDIOS DE TRANSPORTE.

} Variables Socioeconómicas.

} Variable de localización.

*Variable Socioeconómica*

El estudio de la generación de los viajes es quizá la parte más importante en el análisis de un problema de transporte, porque determina el número total de los desplazamientos que se producen y uno de sus extremos.





VARIABLES UTILIZADAS EN LOS MODELOS  
MATEMÁTICOS DE GENERACION DE VIAJES.

$X_1$  = Población.

$X_2$  = Población económicamente activa.

$X_3$  = Propietarios de vehículos.

$X_4$  = Ingreso familiar.

$X_5$  = Densidad de población.

$X_6$  = Grado de motorización.

$X_7$  = Distancia al centro.

$X_8$  = Tamaño de la familia.

$X_9$  = Número de viviendas.

$X_{10}$  = Calidad del servicio de transportación proporcionado.

$X_{11}$  = Distribución de edades en la población.

$X_{12}$  = Grado de urbanización.

$X_{13}$  = Tipo de vivienda.

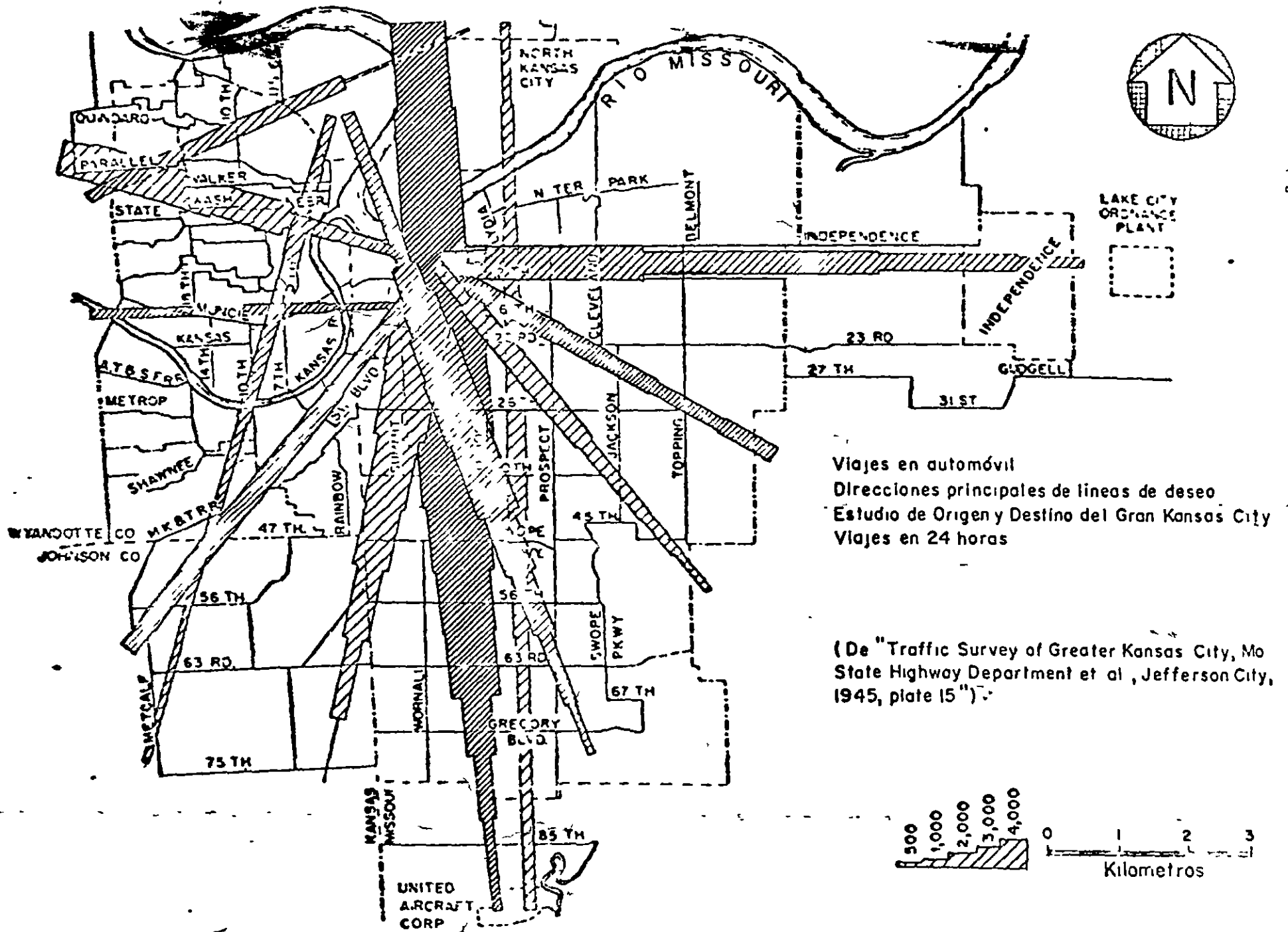
$X_{14}$  = Porcentaje de trabajadores manuales.

$X_{15}$  = Valor de la propiedad.

$X_{16}$  = Número de empleos.

---

NOTA: Los valores anteriores se obtienen para cada zona.



PRESENTACION TIPICA DE LINEAS DE DESEO PARA DATOS DE O-D

## MÉTODOS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO

- 1) Encuesta a conductores en el camino
- 2) Tarjetas postales a conductores
- 3) Lectura de placas de vehículos en movimiento
- 4) Etiqueta sobre el vehículo
- 5) Lectura de placas de vehículos estacionados
- 6) Encuestas domiciliarias
- 7) Cuestionario postal a propietarios de vehículos
- 8) Cuestionario de empleado
- 9) Cuestionario para terminal de transporte público
- 10) Cuestionario del pasajero del transporte público
- 11) Método de síntesis
- 12) Estudio integral de origen y destino

# ZONIFICACION DE UNA CIUDAD PARA ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO

## I) SECCIONES o SECTORES

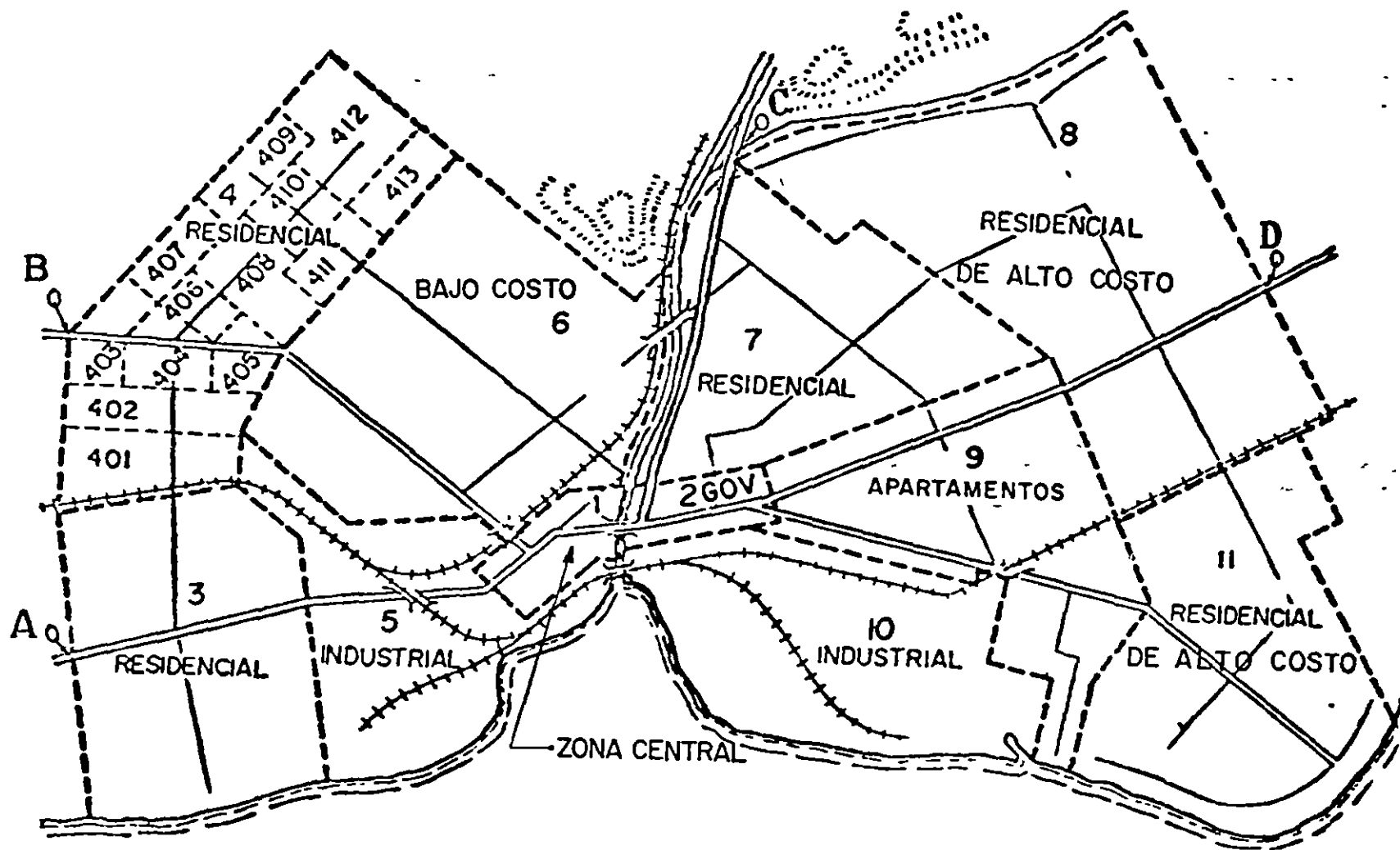
Un sector incluye el área del centro de la ciudad — (sector O), mientras que los otros son generalmente — cuneiformes, con la punta de la cuña tocando o acercándose al sector O.

## II) DISTRITOS

Cada sector es subdividido en no más de diez distritos de forma razonablemente cuadrada o rectangular, los cuales definen zonas mayores de características de uso semejante de la tierra.

## III) ZONAS

Los distritos se subdividen en zonas, otra vez cuadradas o rectangulares. Las zonas típicas en el centro de la ciudad pudieran incluir de 6 a 10 — manzanas; en el área marginal alrededor del centro de 25 a 50 manzanas y en áreas alejadas, más de 100 manzanas.

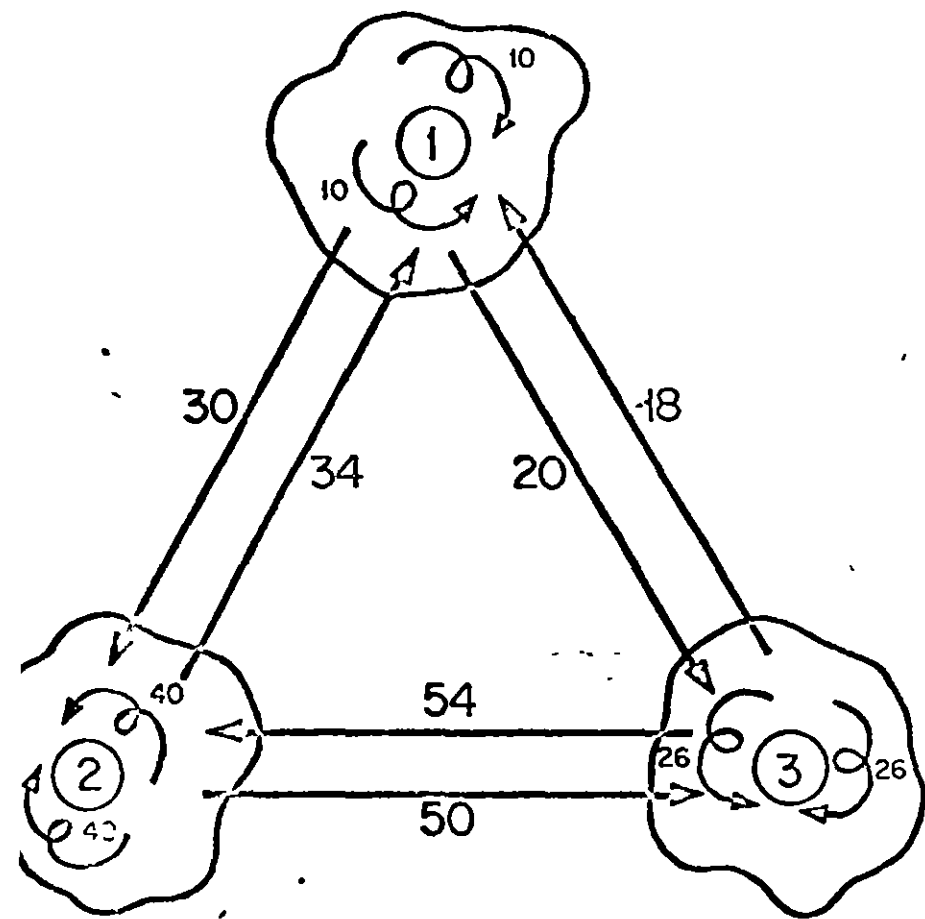


DISTRITOS Y ZONAS PARA UN ESTUDIO DE O-D PARA UNA CIUDAD HIPOTETICA

## USO DE LOS DATOS DE ORIGEN Y DESTINO

Los estudios de origen y destino permiten al ingeniero de Tránsito determinar:

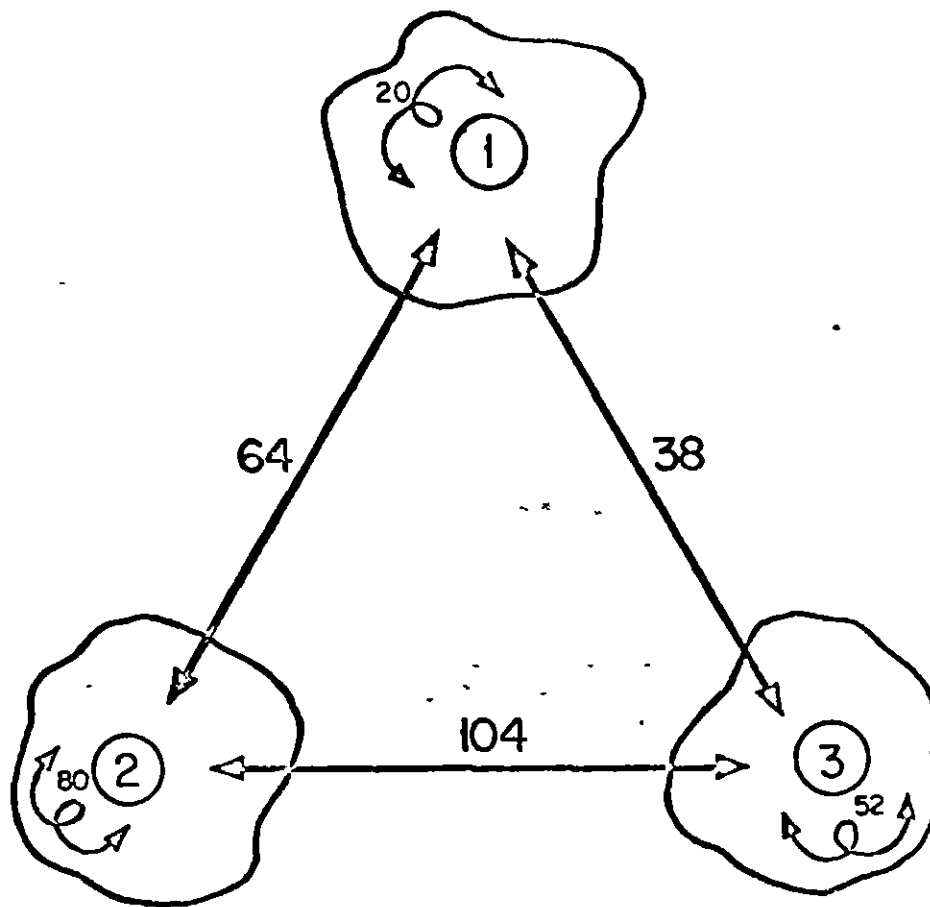
- 1.- Las demandas de viaje sobre los sistemas de transportación existentes e futuros.
- 2.- Estacionamiento existentes y otro tipo de terminales adecuadas.
- 3.- Sistemas adecuados de transportación masiva existentes.
- 4.- La ubicación más conveniente de nuevos puentes e instalaciones terminales.
- 5.- La posibilidad de rutas de libramiento.
- 6.- La información necesaria para planificación, ubicación y proyecto de sistemas de calles, vías rápidas, autopistas nuevas y mejoradas.
- 7.- La información necesaria para la planificación, ubicación y proyecto de sistemas de transportación masiva, nuevos o mejorados.
- 8.- Rutas para tránsito de paso y rutas de camiones.
- 9.- Estimación del uso probable de rutas, líneas de autobuses y terminales nuevas o mejoradas.
- 10.- Características de viaje para diferentes tipos de uso de terreno.
- 11.- Los medios para estimación de patrones de viaje futuros y demandas de transportes.
- 12.- Fijar prioridades de construcción y establecer soluciones económicas para programas de mejoramiento.



①, ②, ③

Número de zona

10, 40, 26, 34, 54 ..... viajes en un sentido.



20, 64, 38, 104 ..... viajes en ambos sentidos

VIAJES QUE GRAVITAN SOBRE LAS ZONAS

Viajes vehiculares

Desde (origen) La zona	A la zona (Destino)			Σ de viajes desde la zona
	1	2	3	
1	10	30	20	60
2	34	40	50	124
3	18	54	26	98
Σ de viajes a la zona	62	124	96	

Tabla rectangular para datos de origen y destino internos.

Viajes vehiculares

Entre zonas	1	2	3
1	20	64	38
2		80	104
3			50

Tabla triangular para datos de origen y destino internos.

Fuente: Louis J. Pignataro Traffic Engineering. (Theory and Practice. Ed 1973 pag. 60)

EJEMPLOS HIPOTETICOS DE MATRICES DE ORIGEN Y DESTINO



## MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE

(Para pronóstico de uso de terreno)

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$$

Donde :

Y=Una medida del cambio en el número de viviendas que ocurrirá en un intervalo de tiempo especificado de pronóstico desde la fecha del último dato posible.

$X_1, X_2 \dots X_n$  = Variables independientes

$a_0, a_1 \dots a_n$  = Coeficiente de regresión

Las variables independientes pueden ser:

a) Terreno baldío

b) Valor del terreno

c) Accesibilidad a los empleos

d) Índice de zonificación residencial (Un valor que es igual a 1.0, si todo el terreno pertenece a una zonificación residencial y es igual a 0.0 si el terreno no es una zona residencial)

e) Medidas de:

Tamaño de la zona

Población de la zona

Cantidad de terreno dedicado a usos varios  
zona de empleo

## DEFINICION DE ALGUNOS TERMINOS USADOS COMUNMENTE EN TRANSPORTACION

- 1) Origen.- El lugar donde se inician los viajes.
- 2) Destino.- El lugar donde terminan los viajes.
- 3) Viaje.- Movimiento en un sentido entre un origen y un destino, independientemente de la longitud o distancia.
- 4) Extremo de un viaje.- Cualquier punto de origen o destino de un viaje.
- 5) Viaje interno o local.- Un viaje que tiene tanto su origen como su destino dentro del área en estudio.
- 6) Viaje de paso.- Un viaje que tiene su origen y destino fuera del área en estudio.
- 7) Cordón.- Una línea imaginaria que define la frontera del área en estudio.
- 8) Línea de deseo.- Una línea recta que une centroides de zona y que representa los viajes que tienen lugar entre las zonas. El ancho de la línea de deseo se dibuja proporcional al número de viajes entre las zonas.
- 9) Línea divisoria.- Una línea establecida para dividir el área de estudio en partes, con objeto de comprobar la exactitud de los datos del estudio de O. y D.









# **TRAFFIC ASSIGNMENT**

## **August 1973**

**methods**

**applications**

**products**

---

**Prepared by**

**Comsis Corporation**

**Wheaton, Maryland**

**For**

**Urban Planning Division**

**Office of Highway Planning**

**U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION**  
**Federal Highway Administration**

---



.



## Bibliografía

Apuntes del Curso de Planeación.  
Facultad de Ingeniería, UNAM.

Traffic in Towns  
A study of the long term problems of  
traffic in urban areas.  
London: Her Majesty's Stationery Office.

Calculs de rentabilité  
appliqués aux investissements routiers  
(Manuel d'application)  
Ministère de L'Équipement et du Logement.  
Paris, France.

Ingeniería de Tránsito.  
Ing. Rafael Cal y Mayor.

Memorias del Seminario de Ingeniería de  
Tránsito auspiciado por el Departamento del  
Distrito Federal.

Revistas Ingeniería. Octubre 1969 y Octubre 1971.



DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PLANIFICACION VIAL URBANA  
( DEL 19 DE ENERO AL 13 DE FEBRERO DE 1976 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ING. BONIFACIO ALVA CERVANTES Tizoc No. 46-3 Col. Moderna México 13, D. F. Tel: 5-79-78-12	DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTES Puente de Alvarado No. 84 México 1, D. F. Tel: 5-35-81-26
2. SR JOSE LUIS BRISEÑO HERNANDEZ Medellín 348-6 Col. Roma Sur México 7, D. F. Tel: 5-64-80-58	
3. ING. F. GUILLERMO BUSTAMANTE F. Cerrada Paz Montes de Oca 19 Edif. "A" 103 Col. Pedro Ma. Anaya México 13, D. F. Tel: 5-54-50-26	DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLI- CAS Ave. Chapultepec No. 466-1er. Piso Col. Condesa México 11, D. F. Tel: 5-53-23-53
4. ING. LUIS CAMACHO DORANTES México, D. F.	SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México, D. F.
5. ARQ. ARMANDO CERVANTES SALAZAR Dr. Vertiz No. 236-6 Col. Doctores México 7, D. F.	CORPORACION DE PLANIFICACION, S.A. Av. Insurgentes Sur No. 1915-602 Col. Guadalupe Inn. México 20, D. F. Tel: 5-50-27-77
6. ARQ. ADOLFO FRANCO RUIZ Av. Progreso No. 124-405 Col. Escandón México 18, D. F. Tel 5-16-95-75	DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLI- CAS Plaza de la Constitución 4o. Piso México, D. F. Tel: 5-92-30-80
7. ING. HECTOR GUERRA SOLALINDE Pino No. 50 Col. Santa Fe México 18, D. F. Tel: 5-70-11-35	DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL Puente de Alvarado 84-3er. Piso México 1, D. F. Tel: 5-35-81-85

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PLANIFICACION VIAL URBANA  
( DEL 19 DE ENERO AL 13 DE FEBRERO DE 1976 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
8. ARQ. NORMA LETICIA HINOJOSA Cerro del Aire No. 52 Col. Romero de Terreros México 21, D. F. Tel 5-54-02-89	PETROLEOS MEXICANOS Bahia de Ballenas 5-11o. Piso México, D. F. Tel: 5-45-74-60
9. ARQ. ENRIQUE F MENDOZA MONTEERRUBIO Corona No 129 Col. Industrial México 14, D. F. Tel: 5-37-92-58	COMISION COORDINADORA PARA EL DESA RROLLO INTEGRAL DE LA PENINSULA DE LA BAJA CALIFORNIA Humboldt No. 31-3er. Piso México 1, D. F. Tel: 521-19-43
10. SR. HECTOR MOLINA G. Antonio Madrazo No. 27 Col. Constitución de 1917 Iztapalapa México 13, D. F. Tel: 5-81-66-49	ESTUDIOS DE INGENIERIA Y PLANEA - CION, S. A. Paseo de la Reforma No. 2165 Lomas de Chapultepec México 10, D. F. Tel. 5-96-29-77
11. SR. ANTONIO MAURO OLVERA H. Filipinas 1122 Col. Portales México 13, D. F.	SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS Xola No. 1755 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-30-30-53
12. SR. LEONEL OROZCO LOPEZ Lago Zirahuen 223 Altos 2 Col. Anáhuac México 17, D. F. Tel: 2-50-18-84	SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS Xola No. 1755-2o. Piso Col. Narvarte México 12, D. F.
13. ING. CARLOS ANTONIO PONCE CORDOVA Sur 77 No. 254 Depto. No. 3 México 13, D. F. Tel: 5-81-09-58	CONTROL Y TECNOLOGIA, S. A. Boulevard Adolfo López Mateos No. 92 Desp. "C" México, D. F. Tel: 5-93-58-49

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PLANIFICACION VIAL URBANA  
( DEL 19 DE ENERO AL 13 DE FEBRERO DE 1976 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
14. ING. OTHON G. REBOLLEDO PEREZ Monte Albán No. 243 Col. Narvarte México 12, D. F.	SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL DIRECCION GENERAL DE JUNTAS FEDERA- LES DE MEJORAS MATERIALES Insurgentes Sur No. 550 México, D. F. Tel. 5-64-34-89
15. ING. SALVADOR RODRIGUEZ GARCIA México, D. F.	SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL DIRECCION GENERAL DE JUNTAS FEDERALES DE MEJORAS MATERIALES Insurgentes Sur No. 550 México, D. F. Tel: 5-64-34-89
16. SR. CARLOS SALINAS NOVOA Cipres 267 Col. Santa María México 4, D. F.	FONDO DE LA VIVIENDA Ejército Nacional No. 832 Col. Polanco México 5, D. F. Tel. 5-20-19-14
17. ING. ILDEFONSO SANCHEZ E. Carpio 132-2 Col. Santa María México 4, D. F. Tel: 5-41-21-08	DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL Metro Normal 2o. Piso México, D. F. Tel: 5-46-61-82
18. ARQ. JOSE RAMON SANCRISTOBAL L. México, D. F.	INGENIERIA Y PLANEACION, S. A. DE C.V Insurgentes Sur 605-1306 México, D. F. Tel: 5-36-65-33
19. SR. ANTONIO SANJUAN CRUZ	JUNTA DE PLANEACION Y URBANIZACION DEL ESTADO DE MICHOACAN Libramiento Sur s/n "Casa de Gobierno" Morelia, Mich.
20. SR. CARLOS IGNACIO SANTILLANA Otavalo No. 107 Col. Lindavista México 14, D. F. Tel: 5-86-49-27	ARQUITECTOS ASOCIADOS Ave. Juárez 2924-402 México, D. F. Tel: 5-46-24-19

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PLANIFICACION VIAL URBANA  
( DEL 19 DE ENERO AL 13 DE FEBRERO DE 1976 )

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- |   |  |
|---|--|
| 21. ARQ. JOSE LUIS TORRES GUERRERO<br>Av. Valle de México 87<br>Cuautilan Izcalli<br>Edó. de México<br>Tel: 9159121580        | CUAUTITLAN IZCALLI O.D.E.M.<br>Avila Camacho 92-A<br>Naucalpan Edo. de México<br>Tel: 5-76-1743          |
| 22. ARQ. ALEJANDRO TOVAR ZAMORA<br>Patriotismo 549<br>Col. Mixcoac<br>México 19, D. F.<br>Tel: 5-63-40-70                     |  |
| 23. ARQ. FERNANDO VALENZUELA EZQUERRO<br>Sierra Candela No. 80<br>Lomas de Chapultepec<br>México 10, D. F.<br>Tel: 5-20-57-47 | PETROLEOS MEXICANOS<br>Bahia de Ballenas No. 5-11o. Piso<br>México 17, D. F.<br>Tel: 5-45-74-60 Ext.2765 |

DIRECTORIO DE PROFESORES  
PLANIFICACION VIAL URBANA

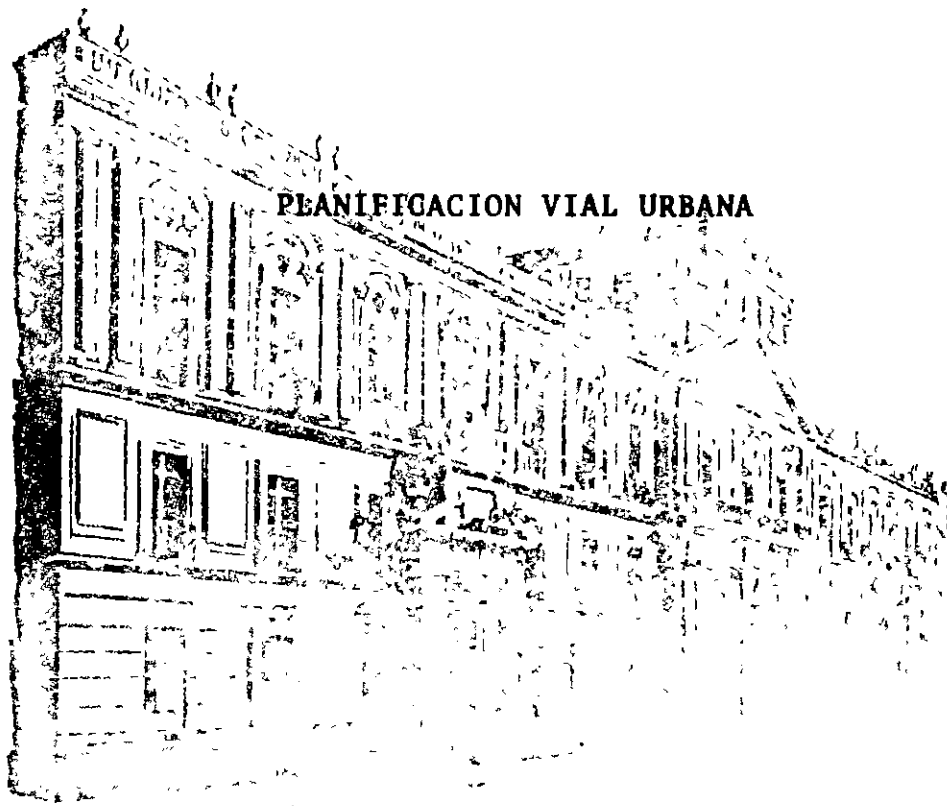
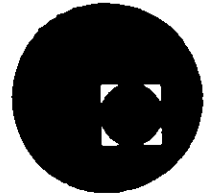
1. ARQ. JOAQUIN ALVAREZ ORDONEZ  
Director de Obras Públicas  
Departamento del Distrito Federal  
Plaza de la Constitución  
Pino Suárez # 38-4° Piso  
México 1, D. F.
2. ING. LUIS F. BALCAZAR QUINTERO  
Supervisor de Obras  
Cuautitlán-Izcalli  
Blvd. Manuel Avila Camacho # 92-A  
Edo. de México  
576-83-22
3. ARQ. RAUL CACHO ALVAREZ  
Coordinador General  
Comisión para el Desarrollo Urbano del  
País.  
Secretaría de Obras Públicas  
Av. Universidad # 171  
53839-97 y 538-39\_58
4. ING. JOSE MIRABENT (ONZALEZ JAUREGUI  
Gerente de Proyectos  
Cuautitlán-Izcalli  
Blvd. Manuel Avila Camacho # 92\_A  
Edo. de México  
576-83-22 ext. 43 y 576-31-48
5. ING. MIGUEL ANGEL NAVA URIZA  
Jefe del Departamento de Evaluación  
de Inversiones  
Dirección General de Programación  
Secretaría de Obras Públicas  
Xola y Av. Universidad  
México, D. F.  
530-99-57
6. ING. ENRIQUE SALCEDO MARTINEZ  
Jefe de la Oficina de Proyectos  
Dirección General de Ingeniería de  
Tránsito y Transportes  
Departamento del Distrito Federal  
Plaza de la Constitución  
Pino Suárez 38 - 4° Piso  
México 1, D. F.

7. ING. GILBERTO SANCHEZ ANGELES  
Director Técnico  
Ingeniería de Tránsito y Transportes, S. A.  
Córdoba 207\_A 1° Piso  
México, D. F.  
574-25\_21
  
8. ING. JORGE SUAREZ RUIAS  
Supervisor de Estudios Viales  
Comisión de Ingeniería de Tránsito  
Secretaría de Obras Públicas  
Xoña y Av. Universidad  
México, D. F.  
590-35-25





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



ARQ. RAUL CACHO

Palacio de Minería  
Tacuba 5, primer piso México 1, D F  
Tels: 521-40-23 521-73-35 512-31-23



LOS PLANES DE REORGANIZACION  
TERRITORIAL EN GRAN BRETAÑA ,  
FRANCIA, ALEMANIA, JAPON y  
MEXICO. 1975 , ARQ. RAUL CA -  
CHO .

( R É S U M E N )

En la historia de la humanidad se han registrado tres grandes revoluciones, que han creado y harán nacer Eras que cambian radicalmente lo habitual: La revolución agrícola de 8,000 a 10,000 años antes de Cristo, que fue a consecuencia del portento de la mutación de las semillas y su germinación, controladas por el hombre; la revolución industrial de 1760-1850, que originó el descubrimiento y dominio de nuevos energéticos y el adelanto en la mecánica, a partir de lo cual entramos en la era de la máquina; y la revolución urbana, que nació poco después de la 2a. guerra mundial, - cuando al sentirse el torrente urbanizador en nuestro planeta, hubo conciencia de la intensidad creciente de la explosión demográfica y aparecieron, por conurbación de ciudades próximas, los colosos de nuestros días, decidiéndose las grandes políticas de reorganización territorial en diversos países, para su equipamiento adecuado y la nivelación económica y social de sus regiones, de entre las cuales destacan las de la Gran Bretaña, Francia, Alemania, Japón y México, que trataremos muy brevemente, después del siguiente preámbulo:

En 1800 el monto total demográfico de la tierra era de 906 millones de habitantes, los que ahora, en 1975, son ya 3,828 millones, esperándose que al llegar el siglo XXI, pueda alcanzarse la cantidad enorme de 6,276 millones. Estas cifras muestran sin duda la fuerza abrumadora de la explosión demográfica que sufre el mundo, aunque la de su urbanización tiene aceleración más grande, pues en ese medio habían únicamente 22 millones de habitantes en 1800, para pasar a 1,900 millones en 1975, y posiblemente 3,250 millones en el año 2000.

El crecimiento aturdidor de la población, y su concentración en las urbes, principalmente las más importantes, como Tokio, Nueva York, Shanghai, - Londres, París y México, en 1970, cuyo orden jerárquico cambiará en 1985, quedando nuestra metrópoli en el tercer lugar, después de las dos primeras, condujo a que, como dijimos anteriormente, se presentaran y pusieran en ejecución grandes políticas nacionales de reacondicionamiento y equipamiento adecuado de sus territorios .

Los problemas de los gigantes urbanos de este tiempo, han hecho decir lo - siguiente a sus críticos locales : " N. Y. presenta los signos de la pobreza y degradación física extremas en los barrios pobres, y la orgullosa ciudad - es el conjunto más incalificable de rescacielos y ghettos que el hombre ha - ya levantado sobre la faz de la tierra, donde en solo 14.8 km<sup>2</sup> concurren diariamente 2.300,000 personas a sus trabajos, congestionando todas las vías de tránsito .

De Tokio, que los embotellamientos de tránsito son los más espectaculares del mundo, pues su área para el movimiento rodado no llegaba el 11% de la - superficie total, mientras Londres tenía el 23% Berlín el 26%, N. Y. el 35% y Washington el 43%; además de que, hasta hace poco tiempo, cuando se - llevaron a cabo los juegos olímpicos asiáticos, únicamente 23% de sus 10 millones de habitantes contaba con alcantarillado y saneamiento básico .

De Londres, se dijo que su problema de tránsito, tradicionalmente defectuoso, se debía a un sistema viejo de calles, inadecuado para los vehículos veloces de estos días, tanto como al mal uso de la tierra y la centralización - excesiva del corazón urbano .

Y de París, que el rasgo dominante y su problema angustioso, era la sobrepoblación y centralización de puestos de trabajo en su parte antigua.

Presentadas las notas anteriores, que reflejan en cierta medida la situación de las grandes metrópolis, podremos resumir los planes nacionales de G. B. , Francia, Alemania, Japón y México, de la siguiente manera :

#### GRAN BRETAÑA . -

El criterio normativo de la planeación general en el Reino Unido, consistió en contener la corriente centrípeta que llegaba tradicionalmente a Londres y otras ciudades importantes, como Manchester, Birmingham, Glasgow, - Leeds y Liverpool, todas mayores de un millón de habitantes; y conducir las fuentes de trabajo, hacia 20 ciudades industriales ( 1964 ), proyectadas en un principio de 25,000 a 100,000 Hab. , y ahora de 250 mil a un millón .

Para lograr esos propósitos, el Gobierno Británico entregó el plan a una - COMISION ESPECIAL, que podía comprar tierras para negociar con ellas, y promover el desplazamiento industrial, comercial y demográfico. Esa Comi\_ sión solo arrendaba la tierra, con límite enfitéutico de 99 años, y establecía para cada ciudad nueva un Comité particular, encargado de realizarla .

La primera Ley de Asuntos Urbanos, en aquél país, fue la de 1909; pero, para el nuevo urbanismo, la de 1947, llamada Ley Planeamiento Urbano y Rural .

Hay que recordar que G. B. , al terminar la 2a. Gran Guerra Mundial, tenía solo 3 Ministerios, a los que adscribió los antiguos: el de Asuntos - Urbanos, el de Asuntos Rurales, y el de Coordinación, pues consideraba que urbe y campo forman un binomio indisoluble .

Desde 1937, creó la Comisión Real de Distribución de la Población Industrial ( Comisión Barlow ), y después otras, como la Scott, que trató sobre urbe y campo, y la Uthwatt para el pago de compensaciones e impuestos al pasar los predios de rurales a urbanos .

Esas 3 Comisiones propusieron la creación de una sola con plenos poderes para encargarse de la planeación . En 1946 se aprobó la Ley de Ciudades - Nuevas, y en 1947 la Ley de Financiamientos, que hizo posible la negociación de las nuevas ciudades en favor del Estado, y la venta de terrenos urbanizados. En 1942, el ministerio de Planeación Urbana y Rural, integrado con 4 Secciones: la de Planes Reguladores, la de Investigación, la Legislativa, y la de Organización .

El Tesoro facilitó, para el fomento de las urbes nuevas, 16,500 millones de pesos mexicanos en 10 años, con el interés anual del 6.5%, y la amortización en 60 años .

El criterio de modernización de Londres se puede sintetizar así:  
 Reducir las densidades en la parte central metropolitana, y aumentarlas en la periferia urbana; reorganizar los distritos de la conurbación, y crear un cinturón verde para dar límite y pulmón a la urbe; construir fuera de ella varias ciudades de contención y descentralización de excedentes, y estabilizar la población en los nuevos asentamientos, desplazando o creando fuentes de trabajo, y prepararse con un plano regulador rigurosamente estudiado, para contener el torrente de vehículos en constante crecimiento.

El principio normativo para el plan de reorganización nacional, fue: "controlar el uso del suelo en cada hectárea del territorio británico"

Para 1981, Londres y su región tendrán 14.4 millones de Hab., si se logra descentralizar 1.6 millones a otras partes del SE Inglés.

## FRANCIA . -

En 1949, la descentralización de París fue aceptada, pero hasta 1955 las medidas adoptadas fueron débiles. Al reconocerse que la industria solo absorbía el 39% de la ocupación, se aceptó que la descentralización incluyera las demás fuentes de trabajo. Se estimó que en el año 2000 París tuviera 16 millones de Hab., y más de 3 millones de vehículos transitarían en esa metrópoli ( en 1974 se tenían 2.400,000 ). En 1957-61, se vio la necesidad de realizar la planeación económica con la ordenación territorial, creándose la COMISION PERMANENTE INTERMINISTERIAL, que definió 21 Regiones de



Programa. En 1961-65, se fijaron los Polos de Desarrollo Industrial, y Puntos de Apoyo Industrial. Varios municipios rurales se definieron para impulsarlos con prioridad. En 1965-70, se abordó la organización regional del país, designándose 7 ciudades, además de París, como Metrópolis de Equilibrio; 10 Centros Regionales de "Pleno Ejercicio", y 23 ciudades de "Funcion Regional Incompleta".

Las primeras 7 quedaron en un radio de 300 kms. del centro de gravedad de Francia, y entre cada polo nuevo hubo más o menos unos 100 a 150 kms. de distancia.

En 10 años de vida de la organización, se vendieron 40 millones de m<sup>2</sup> para la industria, y en los primeros 6 años había operaciones por 104.4 millones de m<sup>2</sup>; a los 9 participaban 71 sociedades, se trabajaba en 70 conjuntos habitacionales con 50 de renovación urbana, y había 1,283 zonas industriales y 26 de turismo, con 267 proyectos nuevos. En 10 años se manejaba un fondo permanente de 2,404 millones de pesos mexicanos. Habiéndose habilitado varias empresas mixtas para trabajar a nombre del Estado.

En 1958 se crean las zonas por urbanizar con prioridad, y las zonas de arreglo diferido (Z. U. P y Z. A. D).

En 1960 nace el PADO, destinado al mejoramiento de la región de París y la propia capital. Para el proyecto del programa de 20 años, se logra la organización definitiva en 1963.

Los puntos principales de su estrategia fueron éstos: reducir la congestión del centro urbano, mediante el mejoramiento masivo de la infraestructura del transporte; prohibir la proliferación de oficinas en ese núcleo; crear focos de atracción en los suburbios, para lograr un "París Policéntrico", y emprender la regeneración de las zonas metropolitanas vetustas. Dentro del plan, se aprovecharían 86.3 hectáreas para estacionamientos, de los cuales 27.2 quedarían en el corazón de la ciudad. El PADOC propuso también construir una serie de autopistas radiales, para interrelacionar los anillos periféricos y las carreteras de penetración; incluyéndose, asimismo el proyecto del RER, o metro express regional.

Como se ha dicho, la idea sobresaliente fue lograr un París Policéntrico, y para su crecimiento un París paralelo, de esa ciudad al Canal de la Mancha, que terminaría en Caen y el Havre siguiendo a uno y otro lado del Rio Sena. Para ese fin se proyectaron 6 Submetrópolis internas, y periféricas 5 en las riberas del Sena y el Marne, a extramuros de la metrópoli. Todas esas sub-metrópolis serían de 1 millón o más habitantes, más la vieja ciudad histórica, para sumar entre todas 14 millones de hab. al llegar la última década de esta centuria. La conurbación, hasta 1965 tenía 65 y 22 kilómetros, para el año 2000 será de 90X25 kilómetros.

#### ALEMANIA . -

La planeación de la Alemania Occidental, puede entenderse con la de su parte principal: El Rhin Ruhr, que ocupa más de la tercera parte del territorio siendo de Bonn a Dusseldorf el ámbito que está bajo el control de la S. V. R.,

organización encargada del plan de asentamiento general de la región, de 1950 a 1961, que abarca 100x40 kms.

La Ley Federal de 1960, sobre Planeación y Edificación Urbanas, otorga fuerza al empleo del terreno, dando competencia a las diversas municipalidades, por lo que la planeación de cada provincia queda bajo la responsabilidad de sus gobiernos. La planeación interprovincial se dejó a una Confederación de las autoridades correspondientes, compuesto de 88 miembros. Participando los Sindicatos con un 20%, los empresarios con otro 20% y un 60% para el S.V.R., existiendo además un Consejo de 16 miembros.

La S.V.R. responde únicamente ante el MINISTERIO DE URBANISMO, VIVIENDA Y OBRAS PUBLICAS, del Gobierno territorial de Westfalia del Norte, con sede en Dusseldorf.

En 1960, el Valle del Ruhr en su zona sur, se declaró saturado de la tradicional actividad minera e industrial, la que ha ido desapareciendo o se encuentra en plena decadencia. La segunda Zona se declaró de replanificación, tratándose de evitar el incremento demográfico. En 1964 se postuló la idea de que el núcleo central del Ruhr debería reducir su población, hasta llegar a un 72% en 1963 y el 63% para lo futuro, respecto al monto del año en que iniciaron los estudios. lo que habría de conseguirse a base de un programa descentralizador, y de renovación de estructuras caducas.

En el área conurbana, se propuso la introducción de amplias franjas verdes (cada 5 o 10 kilómetros) en sentido perpendicular al eje longitudinal del conjunto, principalmente en los 60 kms. más densos de los 100 de esa extensión.

La anchura de las granjas mencionadas sería de 2 a 5 kms.

La diversificación industrial se consideró indispensable, especialmente en las ciudades característicamente mineras, que han sufrido periódicamente por su especialización.

Las colinas se declararon no urbanizables, para destinarlas tan solo a las

actividades recreativas .

Las zonas norte, este y oeste, no edificadas, o con urbanización incipiente se consideraron en desarrollo, sobre todo las del Valle del Lieppe, donde el incremento demográfico deberá llevar a que se contenga del 9% al 14% de la población total del Ruhr; definiéndose 4 sitios para colonización acelerada, que servirían como focos de equilibrio industrial

En todo el Ruhr deberá haber equilibrio de inversiones, industriales, comerciales, de servicios y agropecuarias-industriales .

Lo primero que se requirió fue la red física de comunicaciones; caminos ferroviarios y canales, con sus terminales, más las líneas aéreas; con el objeto de garantizar fluidez y seguridad para el transporte humano y de productos . En este capítulo del transporte, la Ley otorga a la S. V. R. jurisdicción única, inclusive sobre el Ministerio del Transporte .

La S. V. R. organizó Asociaciones de Urbanización, por medio de las cuales se obtuvieron los recursos necesarios .

11 carreteras de nuevo trazo, y 4 autopistas, forman la red maestra del sistema .

La capacidad, uso y densidad de las áreas urbanas, y las franjas verdes, que dan estrictamente controladas, habiéndose obtenido grandes logros al respecto .

Con la Planificación del Ruhr-Rhin, cuencas que se ligan estrechamente formando un todo dentro de la planificación, se han empezado a realizar 7 sub-metrópolis, cada una con capacidad máxima de un millón de hab., compuestas en lo particular de una serie intermedias ciudades equilibradas. Se ha tratado de crear una región metropolitana policéntrica.

#### JAPON. -

El caso ejemplar de esta nación, que ha superado notablemente la ecatombe moral, económica y social de la última gran guerra mundial, reorganizándose desde los cimientos, consiste en haber alcanzado, desde 1968, el producto global de la Alemania Occidental, no obstante el "Milagro Alemán", - pudiendo duplicar en 1975 la producción de ese país. En 1980 su P. N. B., será tan importante como el de todo el Mercado Común Europeo.

En 1965 Japón realizó su Plan de 20 años, que fue adoptado en 1969. En ese plan, el país se fijó la meta increíble de llegar, para 1984, a la renta per cápita de los EE. UU., y hacer del Yen la moneda más sólida del mundo. Japón logró llegar a una inversión general del 31 al 36% sobre su P. N. B., - mientras Suecia aplicaba únicamente del 22 al 26%, y nosotros el 17.9% en 1970, y ahora según parece más del 22%.

El profesor Shimomura, uno de los pilares mundiales en Informática, controló el plan, logrando en 1970 que el volumen de la inversión en esa materia fuera 70 veces mayor que al iniciarse el esfuerzo, y que el número

de computadoras aumentara 20 veces .

Se aplicó el llamado PLAN DE PAIS ENCOGIDO, que incluyó nuevos trazos viales, y vehículos más veloces y seguros. Proyectándose un túnel bajo el mar, entre las dos islas principales, que será mayor que el propuesto para el canal de la Mancha . Piensa terminarse en 1975 .

Más de 20 nuevas líneas férreas unirán Tokio con 34 ciudades satélites, ubicadas en un radio de 50 kms . La región de Tokio, que en 1967 tenía 28.2 millones de hab. , llegará posiblemente a 38 millones en 1985 .

Ese crecimiento se estima, a pesar de la promoción de las 7 ciudades principales del país .

En 1985 el 70% de la población vivirá en las mayores áreas metropolitanas, y la red carretera se duplicará para ese año . El ferrocarril subterráneo tendrá 448 kilómetros ; destinándose 33.300 millones de dólares a la modernización de sus puertos para permitir que toda la industria pesada y sus derivados se establezcan a las costas . Para ganar terrenos al mar, se invertirán 17,500 millones de dólares, con esos recursos podrá arrebatarse al océano 100 mil hectáreas .

En 1975 se habrá duplicado el área fabril, la que en 1965 correspondía a un 0.3% de toda su extensión territorial, para triplicarse en 1985 .

Actualmente se está conquistando la 5a. parte de la Bahía de Tokio; y a 80 kilómetros de la capital, se levanta una área industrial de 3,300 millones de

m<sup>2</sup>. que será realizada en 5 años .

El nuevo proyecto Kashima, del que se habla, dispondrá de un terreno industrial tan grande como el que se tiene entre Tokio y Yokohama, y esa parte, que era hace poco tiempo desierto y mar, será una de las posibles maravillas del mundo .

Fuera de Osaka, la bahía está siendo rellenada hasta una profundidad de 17 m. para construir la Nueva Kobe, de un millón o más habitantes , Para ese fin, se arrazan un par de montañas, y con el material se formará una isla artificial .

El Japón es muy montañoso y sísmico . Tiene 200 volcanes, y el archipiélago cuenta con solo 115,000 km<sup>2</sup>. aprovechables ( 5.7% del territorio mexicano, superficie que es menor que la de Durango, que tiene en total 119,648 km<sup>2</sup>, aunque sea solo como medida comparativa )

MEXICO . -

En nuestra patria, que tiene 1.972,547 km<sup>2</sup>, pero ha crecido hasta 2.422,547 km<sup>2</sup> al ser incorporada al dominio nacional su plataforma continental, existe un enorme contraste, formado por el Area Metropolitana de la Ciudad de México ( A. M. C. M. ) y las 83,303 localidades de 500 o menos habitantes, ( 86.1% de todas las censadas ) donde en la primera, y el conjunto de las otras, vivían, coincidentemente en 1970, 8.4 millones de habitantes .

En la conurbación del A. M. C. M., la superficie ocupada, el año mencionado del último censo, fue de 686.7 km<sup>2</sup> (0.034% del territorio nacional) y sus 8.4 millones de hab. correspondían al 17.3% de la población general, que fue de 48.4 millones de hab., aunque habría de distinguirse que la población del D. F., fue poco mayor de 7 millones y la general del Valle de 9.5 millones.

- Además, el país es característicamente abrupto y pasa por su parte media el Trópico de C´ancer. Cuenta con dos amplias fajas costeras, que comunican con los 2 principales océanos de la tierra. Somos, adicionalmente, el país con más de 30 millones de habitantes que crece demográfica a mayor ritmo. Y el coloso metropolitano del Valle de México, era en 1970 el 5o. del mundo, pudiendo ser el 3o. en 1985, solo superado por Tokio y Nueva York.

En el Valle de México, el Producto Interno Bruto fue de 138,171 millones de pesos (1970), y la inversión de 24,678 millones; lo que, respectivamente, corresponde al 33.0 y 32.7% de lo general nacional; pudiéndose llegar en P. I. B., a 278,071 millones en el año 1980, a 616.099 millones en 1990 y a 1.417,856 millones en el año 2000; pasando, la inversión local en el mismo orden, a 67,935 millones de pesos, 200,429 millones y 617,492 millones; mientras la nacional en las mismas fechas, podrán ser de 207.309 millones, 611,685 millones y 1.884,302 millones.

En el mismo año de 1970, seguían en importancia al A. M. C. M. las de Monterrey y Guadalajara, con 1.487,271 mill. de habitantes y 1.141,637 mill.; y las poblaciones con más de 15 mil hab. eran únicamente 194. (La Capital de la República, con su prolongación metropolitana, podrá llegar



en el año 2000 a 25 millones de hab. )

Por su parte, las localidades mayores de 2,500 hab. eran 1,789 ( 1.8% del total), pudiendo convertirse en aldeas centro o minipolos de atracción del medio rural .

- El 26 de enero de 1972, fue creada en la Secretaría de Obras Públicas la Comisión del Desarrollo Urbano del País ( CODURPA ), y 4 años después ( enero del 76 ) ha estudiado 145 localidades susceptibles de constituirse en polos de atracción para descongestionar las grandes urbes, destacando 45 de ellas por su mayor importancia, ha realizado 26 anteproyectos y proyectos urbanísticos y de factibilidad, y 18 de ellos están en ejecución .

Los fideicomisos con los que se trabaja en las nuevas ciudades, han controlado 107,990,000 m<sup>2</sup> de terrenos, ( 39.7 mill. para las zonas industriales, - 53.5 mill. para las habitacionales y 14.7 mill. para las comerciales ), contando con accesos nuevos, de acuerdo con los proyectos, en 26 predios; agua potable instalada en 14; drenaje en 13; electricidad en 13, y teléfonos en 6; así como líneas férrocarrileras en 15 . Habiéndose autorizado inversiones de apoyo, hasta 1975 por \$ 448.477,000, de las cuales \$ 436,971,000 de créditos .

Las ventas, hasta el 30 de mayo de 1975, alcanzaban la cantidad de \$135,317.00 y las empresas adquirientes eran ya 267, con 194 más en negociación. Debiéndose tomar en cuenta que solo una ciudad fue la que se inició en diciembre de 1971, 6 en 1972, 1 en 1973, 2 en 1974 y el resto en 1975 .

La mayor parte de las ciudades del programa son industriales y requieren, para 25,000 habitantes, 4 millones de m<sup>2</sup> ( 1 millón más de m<sup>2</sup> que los indispensables, previendo el crecimiento industrial y la densificación en el área habitacional )

9 quedaron, (hasta 1975), próximas a las capitales de las Entidades Federativas, y una a un puerto; aunque todos los más importantes están incluí-  
- dos y 7 de ellos cuentan con proyectos y estudios de factibilidad. Entre -  
- las localidades fronterizas se incluyen 4, las más importantes, estando en  
- realización , 3 en esa franja internacional .

Paralelamente, se iniciaron los estudios de localización de 5 submetrópolis  
internas para la capital, y 7 externas, con más de un millón de hab. c/u;  
- más 3 para Monterrey, con no menores de 100 mil hab c/u y 2 para Guadal-  
- lajara . Destacan, además de las Submetrópolis, las ciudades de Querét-  
- ro y Puebla; el Corredor Celaya, Cortazar, Salamanca, Irapuato y León;  
- el Corredor del Istmo de Tehuantepec, de Coatzacoalcos-Minatitlán a Salil-  
- na Cruz; las unidades fronterizas con Norteamérica ( que forman ciudades  
- paralelas con las correspondientes de aquella nación ) : Tijuana, Cd. Juárez  
- y Matamoros; los puertos de las Truchas-Lázaro Cárdenas, Pto. Madero, -  
- Mazatlán, Guaymas y Margén Derecha del Río Pánuco; además de los -  
- mencionados Coatzacoalcos y Salina Cruz .

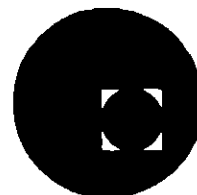
Habiéndose logrado, en el corto tiempo de vida de CODURPA, romper la inerl-  
- cia en el reposo, y contar con adelantos tecnológicos importantes, aunque  
- para profundizar en los estudios, tomar progresivamente decisiones más -

teras, contar con mejores respaldos económicos y legales, y estar respaldados cada vez con mayor fuerza, convendría crear la Secretaría de Asuntos Urbanos y la Vivienda, el Instituto Nacional Superior de Estudios Urbanos, el Taller-Escuela Superior de diseño Urbano, y el Banco Nacional de Fomento Urbano y la Habitación .

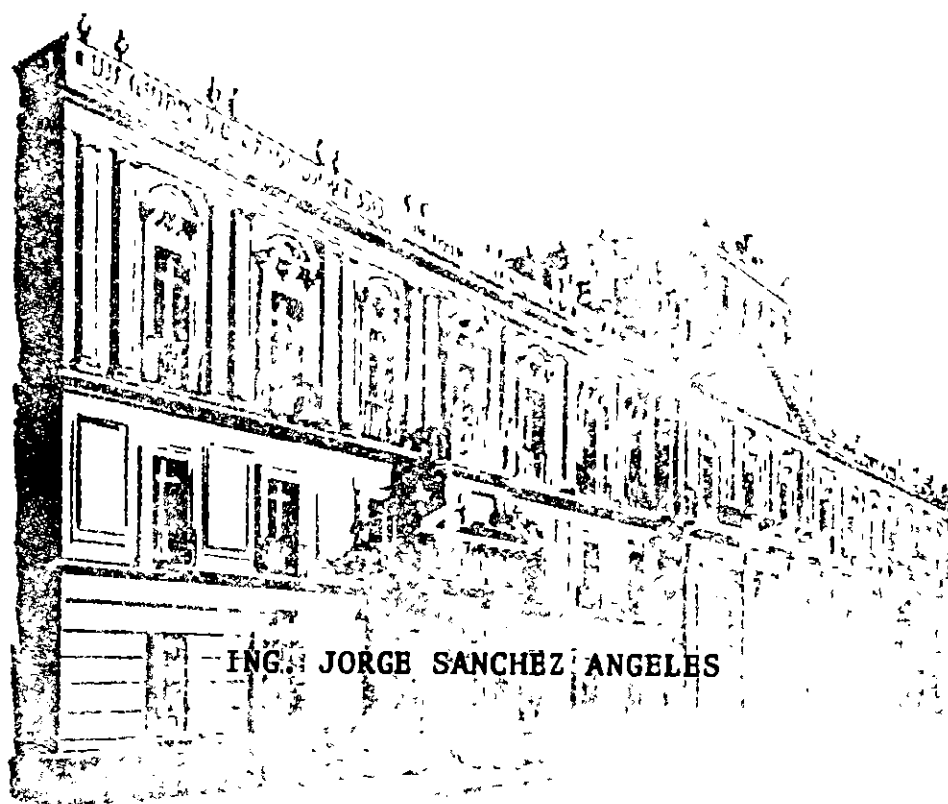




centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



## PLANIFICACION VIAL URBANA



Palacio de Minería  
Tacuba 5, primer piso México 1, D. F.  
Tels.: 521-40-23 521-73-35 512-31-23



## CAPACIDAD EN LA RED EXISTENTE Y SU SOLUCION

### INTRODUCCION

Para la planeación, proyecto y operación de la vialidad, existe un término denominado Capacidad que interviene fundamentalmente en su realización. Es de vital importancia relacionar la demanda de tránsito que existe o existirá en un futuro en determinadas arterias, con las características geométricas que deberá tener la misma. Es decir, debe haber una armonía entre los flujos vehiculares que circulan por una arteria vial y las facilidades que la arteria misma proporcione.

La manera de poder cuantificar y calificar la operación vehicular en las arterias se realiza por medio de estudios de capacidad. Estos estudios, nos permiten determinar la mayor o menor facilidad que se tiene para circular fluidamente, mediante conceptos cualitativos obtenidos de la conjugación de determinados factores cuantitativos relativos al comportamiento vehicular.

Los conceptos cualitativos enunciados anteriormente son conocidos genéricamente con el nombre de Niveles de Servicio, siendo la Capacidad uno de tantos Niveles de Servicio, que se consideran para la evaluación cualitativa del funcionamiento vehicular. Los diferentes Niveles de Servicio son clasificados de acuerdo a la mayor o menor libertad de movimiento. Una misma, arteria con determinadas características geométricas, podrá tener diferentes Niveles de Servicio de acuerdo a la cantidad de vehículos que por ella circulen, así como a las características de la operación de los vehículos.

Así podemos decir, que los análisis de capacidad nos sirven para diversas evaluaciones que nos permiten conocer:

1.- La determinación de deficiencias en el sistema vial existente mediante la compara-

cion de los volúmenes actuales con la capacidad calculada de acuerdo a las características operacionales.

2 - Los cambios que deberán ser propuestas en el sistema de calles, tales como cambios en la geometría, señalamiento, regulaciones de estacionamiento, cambios de 2 sentidos de circulación a uno solo, restricciones de vueltas derechas, izquierdas o ambas, etc , que nos permita aumentar la capacidad de las vías.

3.- El proyecto de nuevas vías o modificaciones geométricas de importancia, de acuerdo a las demandas futuras.

#### DEFINICIONES:

#### CAPACIDAD.

Llámanse capacidad de un camino o de un carril al número máximo de vehículos que pueden circular por él durante un período determinado y bajo las condiciones prevalentes tanto del camino como de la operación del tránsito. El período a que se hace mención anteriormente es generalmente considerado de 1 hora.

Dentro de término capacidad, el Highway Capacity Manual, distingue tres tipos de capacidad: Capacidad básica, Capacidad posible y Capacidad práctica.

Capacidad Básica.- Definida como el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto dado de una arteria o carril bajo condiciones ideales del tránsito y del camino, en un período de 1 hora.

Capacidad Posible.- Definida como el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto dado de una arteria o carril, bajo condiciones prevalentes tanto del --



de la operación vehicular, en un lapso de 1 hora.

Capacidad Práctica - Definida como el máximo número de vehículos que pueden pasar en un tiempo dado de una arteria o carril en 1 hora, sin demoras irrazonable, ries-  
go e interrupciones

De las tres definiciones vistas anteriormente se observa que el término Capacidad pos-  
ble es la que más concuerda con la definición del término genérico Capacidad

Al definir los conceptos anteriores, se anotan los términos condiciones ideales y preva-  
lecientes tanto del camino como del tránsito, los cuales se explican a continuación.

#### CONDICIONES IDEALES.

##### a).- Del Camino

Se refieren básicamente a características geométricas tales como anchuras de carril de  
3.65 m, sin obstrucciones laterales a menos de 1.80 metros del borde del pavimento, -  
alineamiento tanto horizontal como vertical adecuado para poder desarrollar veloci-  
dades de 110 km./h. o más y distancias de visibilidad para el rebase mayores de 500 m. -  
(en arterias con doble sentido de circulación).

##### b).- Del Tránsito

Se refiere a que el flujo vehicular es libre y sin ninguna interrupción, libre de interfe-  
rencias de vehículos y peatones.

#### CONDICIONES PREVALECIENTES.

##### a).- Del Camino.

Estas se refieren a las características geométricas que tiene actualmente la arteria las -  
cuales no pueden cambiar a menos que una reconstrucción sea realizada.

##### b).- Del Tránsito.

Se refieren básicamente a las características normales de la operación del tránsito, co-

mo serían la composición del tránsito (en automóviles, autobuses y vehículos pesados), vueltas derechas o izquierdas, presencia de autobuses y tipo de parada, ya sea antes de cruzar la intersección o después de ella, etc

#### NIVEL DE SERVICIO .

Este es un concepto que concuerda con el término de Capacidad Práctica'. Es asociado con diferentes condiciones de operación que pueden ocurrir en carril o camino dado, cuando aloja varios volúmenes de tránsito. Como ha sido mencionado anteriormente es una medida cualitativa de una serie de factores, entre los que se incluyen:

- 1.- La velocidad y el tiempo de recorrido .
- 2.- Interrupciones del tránsito .
- 3.- Libertad para manejar .
- 4.- La seguridad .
- 5.- La comodidad .
- 6.- Los costos de operación .

Para la calificación de la operación de una arteria han sido establecidos 6 Niveles de Servicio desde el A hasta el F, y denotan desde el mejor hasta el peor Nivel de Servicio, de acuerdo a la satisfacción de los usuarios .

Un camino o carril proyectado para determinado Nivel de Servicio, en realidad podrá proporcionar todos los Niveles de Servicio conforme a la mayor o menor cantidad de vehículos que por ella circulan, así como a la composición del tránsito.

#### VOLUMEN DE SERVICIO .

Para cada Nivel de Servicio existe un volumen de tránsito que le corresponde, llamado Volumen de Servicio, y se define como el máximo número de vehículos que pueden pasar en una sección dada de un carril o camino, en un sentido en caso de tratarse de arterias

de carriles múltiples (o en ambos sentidos cuando se trata de caminos de dos o tres carriles), durante un tiempo especificado, que es generalmente de 1 hora.

## TIPOS DE CAMINO

Es muy importante conocer los diferentes caminos que existen en cuanto a características físicas y funcionales ya que la capacidad varía de acuerdo a ellas.

A) - Según su función:

A, a - De acceso controlado.

1 - Total control.- Significa que se le dá preferencia al tránsito de paso y que sólo existen conexiones con otros caminos en puntos seleccionados. Estos se le denominan autopistas y tienen como prohibiciones las intersecciones a nivel y los accesos directos a propiedades privadas.

2 - Parcial control.- En éste tipo de camino, al igual que el anterior se le dá preferencia al tránsito de paso, y además de los puntos seleccionados para conexiones con otros caminos, pueden existir intersecciones a nivel y accesos directos a propiedades privadas.

A. b.- Sin control de accesos.- Son aquellos caminos que no limitan el número de puntos de entradas o salidas al camino, con excepción de aquellos casos en los que por seguridad del usuario son restringidos. Entre ellos se encuentran los siguientes:

1.- Camino Dividido.- Es aquel con circulación en dos sentidos pero en el cual un sentido de circulación está separado por el opuesto por una faja separadora central. Estos caminos son generalmente de dos carriles o más por sentido de circulación.

2.- Camino no Dividido.- Análogo al anterior pero sin la faja separadora central.

3.- Arteria Urbana.- Camino principal en zona urbana, para el tránsito de paso, generalmente sobre una ruta continua.

4 - Camino de dos carriles.- Camino no dividido, con ambos sentidos de circulación en el mismo cuerpo.

5 - Camino de tres carriles.- Camino no dividido con ambos sentidos de circulación y un carril central exclusivamente para facilitar maniobras de rebase. Los carriles laterales, en este, funcionan con el sentido de circulación correspondiente.

6 - Camino de carriles múltiples.- Camino no dividido con circulación en ambos sentidos, y que tiene 4 o más carriles para el tránsito.

B) - Según su configuración.

B.a.- Camino en terreno plano.- Es aquel que en cualquier combinación de alineamiento horizontal y vertical, o en combinación de pendientes y longitudes de las mismas, permite que los vehículos pesados mantengan una velocidad análoga a la desarrollada por los automóviles.

B,b.- Camino en terreno de lomerío.- Es aquel que en combinaciones de pendientes y longitudes o de alineamientos vertical y horizontal, hace que los vehículos pesados, reduzcan velocidades en comparación con la de los vehículos ligeros, en determinados tramos del camino.

B.c.- Camino en terreno montañoso.- Es aquel que por las combinaciones de alineamientos horizontal y vertical obliga a los vehículos pesados a circular a velocidades muy bajas en distancias considerables y a intervalos frecuentes.

#### CARACTERÍSTICAS DEL TRANSITO.

Las características del flujo de un camino dependen de la disponibilidad de éste último para alojar el tránsito. Esta disponibilidad depende de una gama de características físicas del camino, pero también de otros factores no directamente relacionados a las características físicas, los cuales toman un papel importante en la determinación de la capacidad de cualquier camino. Muchos de esos factores relacionan las variaciones en la demanda vehicular y la interacción de vehículos en la corriente del tránsito.

## CARACTERISTICAS DEL VOLUMEN .

1.- Máximo volúmenes observados.- Los Estados Unidos de Norteamérica en estudios realizados al respecto en diferentes caminos, encontraron los siguientes volúmenes - horarios en el año de 1961.

Carreteras rurales de dos carriles ( ambos sentidos)	———1870 vph
Arterias urbanas de dos carriles ( ambos sentidos)	———2060 vph
Carreteras rurales de cuatro carriles( un sentido)	———1775 vph/carril
Vías rápidas urbanas de cuatro carriles( un sentido)	———2235 vph/carril
Autopistas rurales de cuatro carriles ( un sentido)	———1685 vph/carril
Autopistas urbanas de cuatro carriles(un sentido)	———2030 vph/carril

Sin embargo, cabe hacer la aclaración que los hábitos son diferentes en cada lugar y - por lo tanto los valores anteriores pueden variar. En particular, estudio realizados en México, indican que debido a los hábitos tan diferentes a los del país vecino, nuestras arterias urbanas logran alojar mayores volúmenes que los encontrados en Estados Unidos.

2.- Distribución por sentidos.- Es de vital importancia el conocer la distribución vehicular por sentidos para los análisis de capacidad, ya que aunque el volumen promedio diario anual es aproximadamente el mismo para cada sentido del tránsito, los volúmenes horarios varían ampliamente durante el día. En estas condiciones, un flujo por sentidos no balanceado hace que si no se tiene el conocimiento necesario, nos lleve a resultados erróneos al no tomar en cuenta la distribución direccional.

3.- Distribución por carriles.- En caminos de un sentido de circulación la utilización de los carriles por el tránsito es muy variable. En la fig. 1 se ilustra el efecto que el volumen del tránsito tiene sobre la utilización de los carriles en una carretera de 6 carriles, (3 en cada sentido del tránsito).

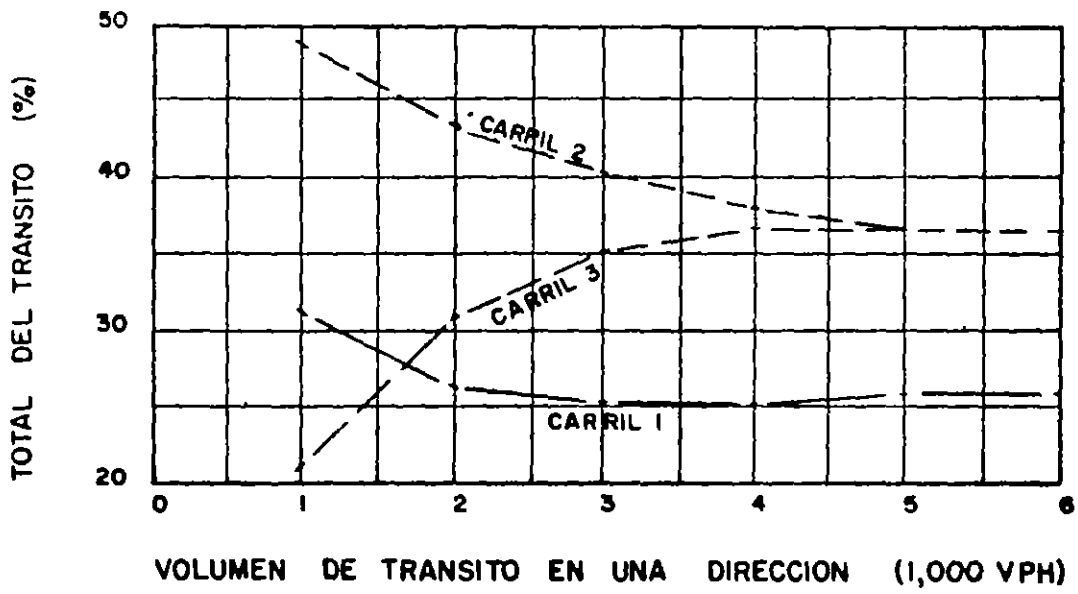


Fig. 1

4 - Composición del Tránsito - Para efectos de análisis el tránsito es compuesto de tres tipos de vehículos fundamentalmente: Automóviles, Autobuses y Camiones (vehículos pesados). El porcentaje en que los dos últimos intervienen en la composición - afectan las velocidades de los vehículos y las características de operación, afectando por tanto la capacidad del camino.

5 - Fluctuaciones del tránsito en el tiempo.- Es obvio que el tránsito no sigue una ley exacta para su comportamiento y por lo tanto es de esperarse que existan fluctuaciones mensuales, semanales, diarias y horarias, de acuerdo a diferentes actividades y demandas sociales y económicas, tales como vacaciones, días festivos, etc. Desde el punto de vista de la capacidad, la variación que más interesa es la horaria, la cual nos servirá para encontrar determinadas características del tránsito dentro de la hora de máxima demanda, tal como el factor de la hora de máxima demanda.

6 - Relación entre los volúmenes horarios de proyecto y el tránsito promedio diario-anual.- Para fines de proyecto es necesario encontrar una relación entre el volumen promedio diario anual y el volumen que nos será útil para fines de proyecto. Debido a que los volúmenes horarios presentan una amplia distribución durante el año y el mayor volumen ocurre en un pequeño número de horas, deberá escogerse, para proyecto, aquella hora que resulte la más ventajosa por cuanto al servicio que desee proporcionarse y los costos, ya que resultaría mal desde el punto de vista económico el proyectar con el volumen horario máximo que se presentará durante todo el año, porque se presentaría una sola vez.

## CARACTERISTICAS DEL ESPACIAMIENTO Y DE LOS INTERVALOS ENTRE VEHICULOS.

1.- El espaciamiento es definido como la distancia entre frente y frente de vehículos

sucesivos Intervalo es el tiempo que transcurre entre el paso de los vehículos sucesivos por un punto dado, medido entre frente y frente de vehículo. Estos dos términos - los cuales dependen de la velocidad, están relacionados mediante la siguiente expresión

$$\text{Intervalo (seg)} = \frac{\text{Espaciamiento (m)}}{\text{Velocidad (M/seg.)}}$$

La relación matemática entre el espaciamiento promedio y la densidad es como sigue:

$$\text{Densidad (veh/km.)} = \frac{1000 \text{ (m/km.)}}{\text{espaciamiento promedio (m/veh)}}$$

entendiéndose por densidad el número de vehículos que ocupan una unidad de longitud en un instante dado.

La fórmula matemática entre el intervalo promedio y el volumen de tránsito, se expresa como sigue.

$$\text{Volumen (vph)} = \frac{3600 \text{ (seg/h)}}{\text{intervalo promedio (seg/veh)}}$$

2.- Espaciamiento como una medida de la capacidad.- Pocos conductores, si es que los hay, operan sus vehículos en idéntica forma o reaccionan similar en condiciones semejantes. Es por lo tanto imposible poder predecir los efectos de diferentes condiciones del camino ó del tránsito en un conductor. El espaciamiento y el intervalo entre vehículos afectan al usuario y por lo tanto están relacionados con el Nivel de Servicio. Ambos, espaciamientos e intervalo dan al conductor una indicación de la fluidez o congestión en un camino. Debido a esto, las reacciones de los conductores bajo diversas condiciones tiene un efecto considerable en la capacidad. El volumen del tránsito varía directamente con la velocidad, e inversamente con el espaciamiento entre vehículos. Lo anterior puede ser expresado mediante la siguiente fórmula :

$$\text{Volumen (vph)} = \frac{1000 \text{ (m/km.)} \times \text{velocidad (km./h)}}{\text{espaciamiento (m/veh)}}$$

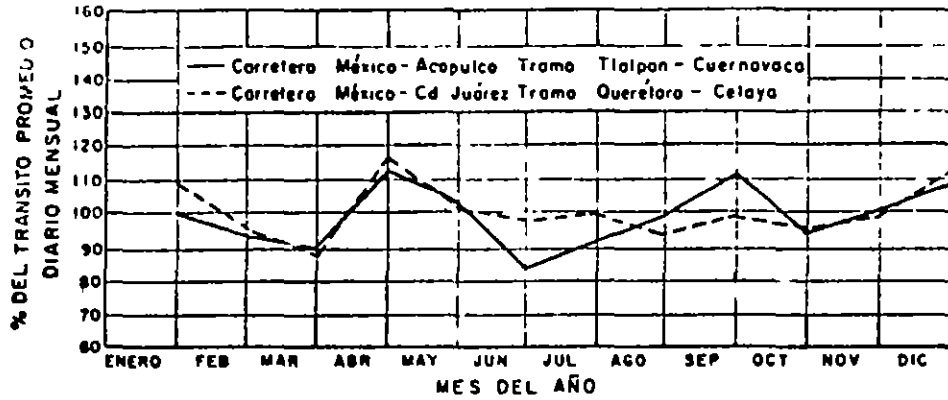


Si el volumen es representado gráficamente con la velocidad, usando la fórmula anterior era encontrado que el más alta volumen vehicular que un carril puede alojar es aproximadamente de 2000 vph, cuando los vehículos viajan a una velocidad de aproximadamente 50 km /h. Este volumen representa la capacidad máxima de un carril de tránsito operando bajo condiciones ideales.

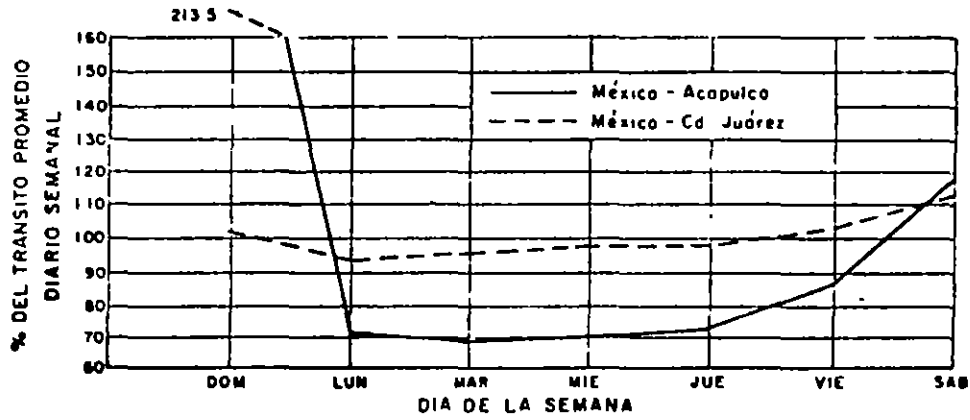
Un carril puede alojar el volumen anterior, sólo si se presentan las siguientes condiciones

- a.- Debe haber por lo menos dos carriles para tránsito circulando en una misma dirección.
- b.- No deben haber velocidades relativas entre vehículos. Es decir, todos los vehículos deben estar circulando a la misma velocidad.
- c.- No deben existir vehículos pesados.
- d.- Deben ser adecuados las anchuras de carril, acotamientos, distancias a obstrucciones laterales y verticales.
- e.- No deben existir movimientos de incorporación, entrecruzamiento o vueltas.
- f.- No deben existir estacionamiento, ascenso o descenso de pasajeros, paradas de vehículos.
- g.- No deben existir restricciones por distancia de visibilidad, pendientes, curvas con sobreelevación inadecuada, intersecciones con semáforos o interferencias de peatones.

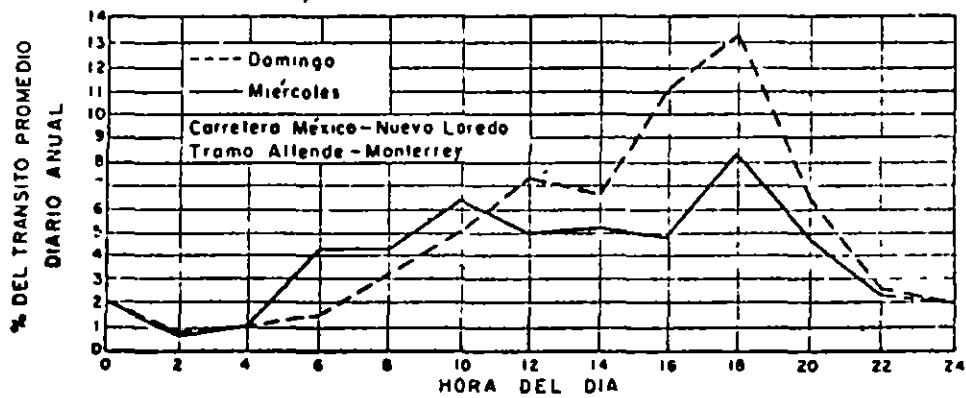
3.- Distribución de los intervalos.- Si todos los vehículos fueran igualmente espaciados, la determinación de los máximos volúmenes o los niveles de congestionamiento serían fácilmente obtenidos. Sin embargo, los vehículos tienden a formar grupos aún cuando circulan bajos volúmenes de tránsito. Intervalos individuales muestran una gran variación, existiendo vehículos circulando con intervalos muy cortos y otros con inter-



A) Variación mensual



B) Variación semanal



C) Variación horaria

FIGURA 43. VARIACIONES DEL VOLUMEN DE TRANSITO

valos muy largos.

Las figuras 2 y 3 muestran la distribución de intervalos para vehículos viajando en la misma dirección en caminos de dos carriles y cuatro carriles de circulación respectivamente, para diversos volúmenes de tránsito bajo condiciones de flujo ininterrumpido. Casi para cualquier volumen, aproximadamente las dos terceras partes de los vehículos son espaciados a intervalos menores o iguales que el intervalo medio.

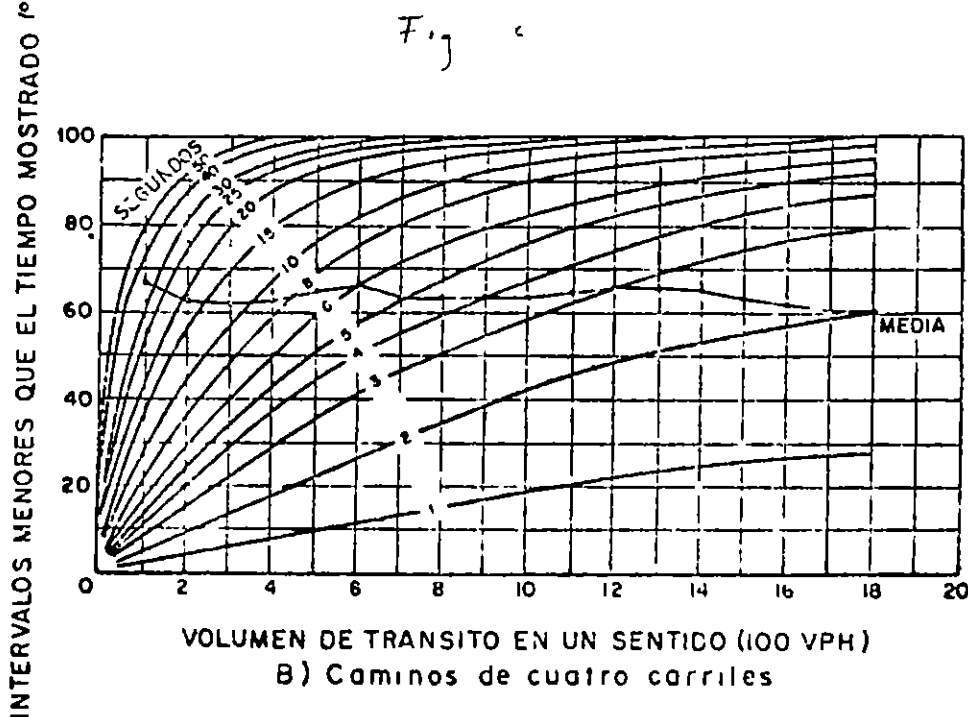
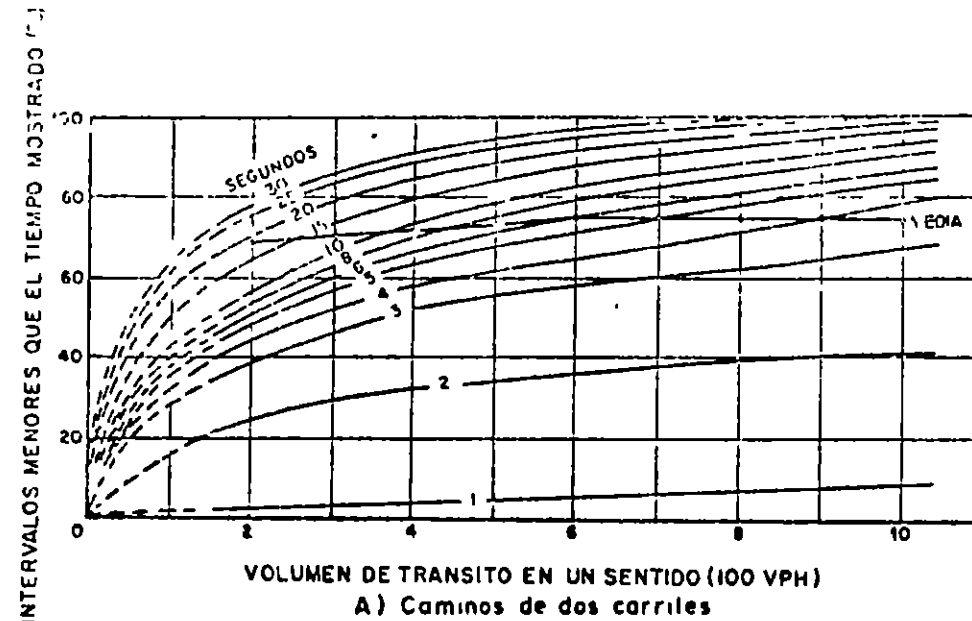


FIGURA 6-8 DISTRIBUCION DE LA FRECUENCIA DE INTERVALOS ENTRE PARES DE VEHICULOS CIRCULANDO EN EL MISMO SENTIDO A DIFERENTES VOLUMENES DE TRANSITO, EN CAMINOS RURALES

En caminos de carriles múltiples, algunos conductores aceptarán más pequeños intervalos que otros y tenderán a circular en el carril adyacente a la faja separadora central. Así, se ha determinado en los Estados Unidos de Norteamérica que estos carriles llevan aproximadamente volúmenes de 2,200 vehículos por hora. Por otro lado, conductores que prefieren mayores intervalos tienden a circular por el carril derecho y por lo tanto la capacidad en este último es menor a 2000 vph. Es decir la capacidad máxima de 2000 vph debe modificarse tomando en cuenta la variación de intervalos de carril o carril.

Las características de espaciamiento vehicular pueden ser tratadas analíticamente, si se toma en cuenta que el comportamiento vehicular es muy aleatorio y por lo tanto los intervalos siguen una distribución al azar, es decir, la posición de cada vehículo es independiente de cualquier otro y tramos iguales de camino tienen la misma probabilidad de alojar el mismo número de vehículos. Esta distribución está dada por la llamada Distribución de Poisson.

$$P(x) = \frac{e^{-m} m^x}{X}$$

en la cual:

$P(x)$  = Probabilidad de exactamente (x) ocurrencias.

X = Número de ocurrencias.

e = Base de los logaritmos Neperianos = 2.7183

m = Promedio de ocurrencias que se espera.

La distribución de Poisson es de mayor utilidad cuando se trata de la distribución de eventos discretos, como lo es el arribo de vehículos dentro de un intervalo dado. La distribución de intervalos de tiempo entre vehículos es una variable continua y exponencial por naturaleza. Esta distribución exponencial, derivada de Poisson para la condición de no arribo de vehículos durante un período de tiempo dado, está dada por:

$$P(h \geq t) = e^{-qt}$$

en la cual

(h > t) Probabilidad de un intervalo igual a mayor que el tiempo t.

h Intervalo de tiempo entre vehículos .

t Tiempo de segundos .

q= Flujo en vehículos por segundo .

Una de las aplicaciones de la ecuación anterior es la de comparar la distribución de las separaciones calculadas y las observadas para varios volúmenes de tránsito. Una desviación apreciable de la distribución al azar o un gran porcentaje de vehículos circulando con intervalos pequeños, serán un índice del congestionamiento que experimente el flujo vehicular.

## RELACIONES ENTRE VELOCIDAD, VOLUMEN Y DENSIDAD.

Principios de física hidráulica, así como las leyes de varias ciencias están siendo aplicadas a la teoría del movimiento del tránsito, con varios grados de suceso. Modelos analíticos del flujo vehicular son muy útiles, aún cuando no hayan sido desarrollados completamente para describir las complejas interrelaciones que afectan la corriente del tránsito.

I.- Relación velocidad -volumen.- La relación básica velocidad-volumen para flujo ininterrumpido puede expresarse en la siguiente forma. Conforme el volumen del tránsito se incrementa, la velocidad media de los vehículos disminuye hasta que la densidad crítica es alcanzada. Después de este punto tanto el volumen como la velocidad decrecen. La forma general adoptada por la representación gráfica de los estudios de campo es como la que aparece en la figura No.4. La parte AB de la figura es clasificada como condición de flujo libre, la BCD como condición de flujo inestable (con-

el volumen en el punto C representando la densidad crítica) y la parte DE como condición de flujo forzado

Para condiciones de flujo discontinuo, es muy difícil poder establecer esta relación, ya que en la mayor parte de los casos tanto la demanda como la capacidad tienen valores diferentes en tramos subsecuentes.

Un exhaustivo estudio para establecer esta relación en calles urbanas controladas con semáforos, llevado a cabo en Chicago, Illinois, reveló que la velocidad permaneció constante cuando el volumen no excedía el 70% del valor de la capacidad. Cuando el 70% fué excedido, la velocidad decreció linealmente en 5 millas por hora conforme el volumen fué acercándose a la capacidad.

**Relación Velocidad-Densidad.**- Esta relación es similar a la anterior para flujo continuo en cuanto a que la velocidad decrece conforme el volumen, y la densidad aumentan. La densidad sin embargo, continúa aumentando más allá del punto de densidad crítica, en tanto que el volumen disminuye.

Esta relación para flujo interrumpido es muy similar a la de flujo continuo y la mayoría de los estudios han encontrado que existe una relación lineal.

**Relación Volumen- Densidad.**- La relación básica volumen densidad tanto para condiciones de flujo continuo y discontinuo indica que así como la densidad se incrementa -

desde cero ( cuando no hay vehículos), el volumen se incrementa hasta el punto de densidad crítica. Después de éste punto el volumen decrece en tanto que la densidad continúa aumentando hasta un máximo, tal como se muestra en la fig. No. 5.

## CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO.

### CAPACIDAD.

a).- Condiciones de Flujo Continuo.- La tabla siguiente nos muestra las capacidades para diferentes tipos de camino, bajo condiciones ideales tanto del tránsito como del camino. La justificación del uso de los valores anotados ya fueron señalados al hablar del espaciamiento como una medida de la capacidad.

Tabla 1.- Capacidad bajo condiciones ideales.

Tipo de camino	Capacidad (vehículos ligeros)
2 carriles ( 2 sentidos)	2000 vph ( ambos sentidos)
3 carriles ( 2 sentidos)	4000 vph ( ambos sentidos)
Camino de carriles múltiples	2000 vph/carril

b).- Condiciones de flujo discontinuo.- No es posible definir la capacidad en este renglón a causa del gran número de variables involucradas. En general, se pueden estable-

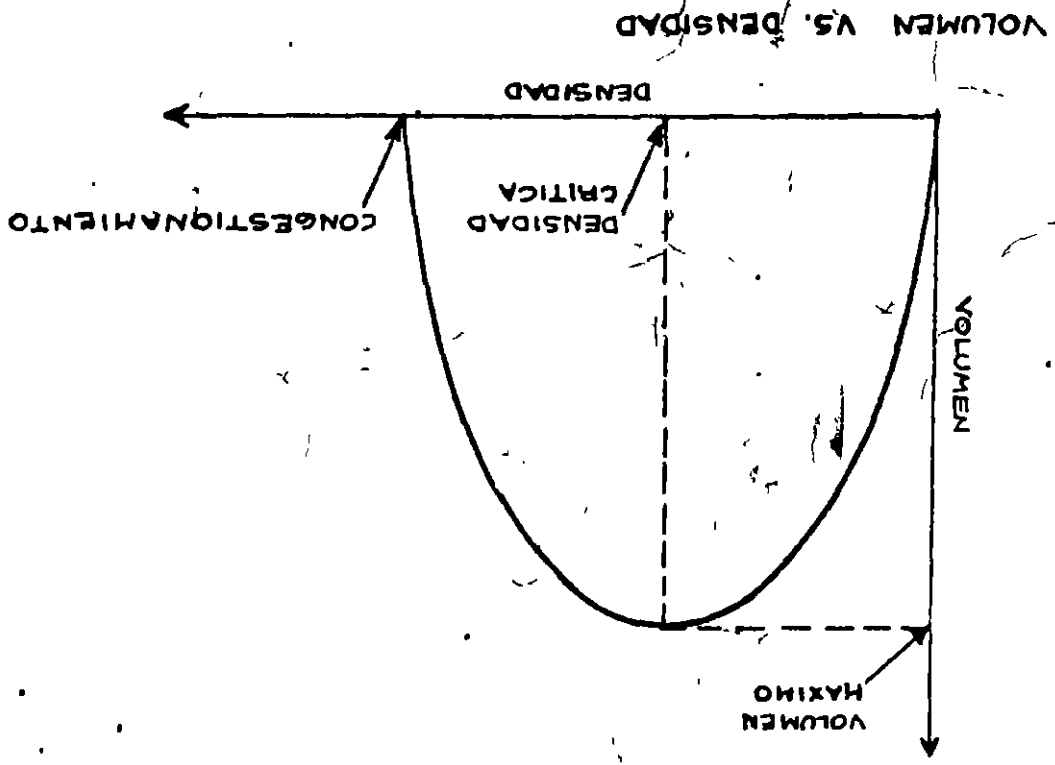
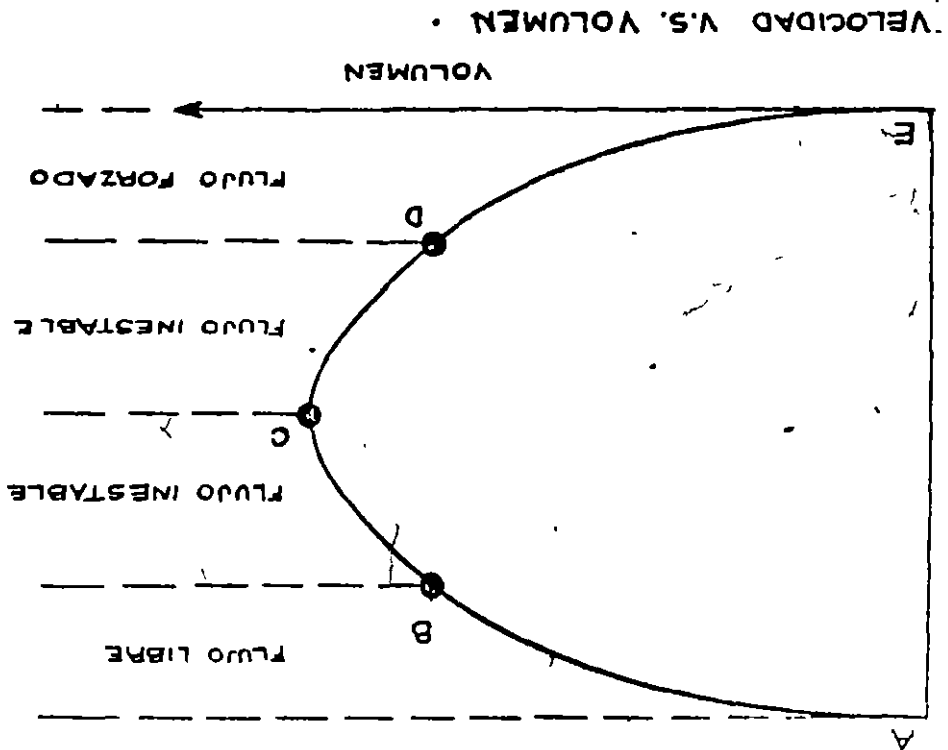


FIG. 4



VELOCIDAD V.S. VOLUMEN



cer dos limitaciones básicas de la capacidad:

1 - Raramente un carril de tránsito en una arteria urbana puede llevar volúmenes de 2000 vehículos ligeros por hora, aún con una progresión uniforme de semáforos.

2 - Una hilera de vehículos parados, difícilmente se moverá a partir de la interrupción en una proporción mayor de 1500 vehículos por carril y por hora. Este valor es basado en un promedio de intervalo para arranque de 2.4 segundos.

#### NIVELES DE SERVICIO.

Este concepto ya ha sido definido con anterioridad, por lo que sólo se dará el criterio a seguir para la determinación de la capacidad y los niveles de servicio, así como la definición de cada uno de los niveles establecidos.

#### CRITERIO:

1.- El volumen y la capacidad son expresados en número de vehículos ligeros por hora.

2.- El nivel de servicio es aplicado a una sección de camino de significativa longitud.

3.- Realización de estudios de volúmenes y velocidad en todas y cada una de las secciones con condiciones operacionales similares. En estas condiciones será obtenida una velocidad de recorrido promedio para el camino a analizar y por lo tanto su nivel de servicio.

4.- Las variables usadas para medir la capacidad incluyen tipo de camino, geometría, velocidad promedio, composición del tránsito, variaciones del volumen en el tiempo. Para determinación de Niveles de Servicio es necesario además, conocer la velocidad y la relación volumen-capacidad.

5.- Los valores de la velocidad y relación volumen-capacidad serán observadas en los siguientes tipos de caminos.

a).- Autopistas.

- b) - Caminos de carriles múltiples.
- c) - Caminos de dos y tres carriles.
- d) - Calles urbanas
- e) - Calles del centro de la ciudad.

Una vez establecidas las variantes que deber ser tomadas en cuenta para la determinación de los niveles de servicio, a continuación se definirán cada uno de ellos:

**Nivel de Servicio A.** - Corresponde a una condición de flujo libre, en la que los volúmenes de tránsito son bajos y las velocidades altas. Estas velocidades son escogidas a deseo de los usuarios pues no existen problemas de interrupciones. La densidad en este tipo de camino es baja.

**Nivel de Servicio B.** - Corresponde a una condición de flujo estable, con ciertas restricciones de velocidad por las condiciones del tránsito. Estas reducciones de velocidad son razonables y aún el conductor tiene cierta libertad para escoger la velocidad adecuada.

**Nivel de Servicio C.** - Aún se encuentran bajo condición de flujo estable, pero es más difícil escoger la velocidad debido a los volúmenes de tránsito. Asimismo, presenta cierta dificultad el pasar de un carril a otro. Aún la velocidad desarrollada es satisfactoria.

**Nivel de Servicio D.** - Se acerca a la condición de flujo inestable y aunque presenta mayor dificultad para cambiar de carril o efectuar maniobras aún pueden realizarse, percibiendo el conductor falta de comodidad. En determinados momentos y debido a los flujos vehiculares es notable el descenso de la velocidad de operación.

**Nivel de Servicio E.** - Las velocidades desarrolladas en este nivel son aún más bajas que el nivel anterior. Pueden existir paradas momentáneas y el volumen del tránsito es el correspondiente a la capacidad.

**Nivel de Servicio F.** - Representa un flujo forzado caracterizado por velocidades bajas y volúmenes inferiores a los de la capacidad. Se producen paradas y por lo tanto colas -

de vehículos. En casos extremos, tanto la velocidad como el volumen pueden descender a cero.

#### FACTORES DETERMINANTES DE LA CAPACIDAD.

Antes de entrar en el campo de los factores reales que afectan la capacidad, es necesario enunciar otros términos cualitativos relativos a la operación del tránsito y aquellas que influyen a el comportamiento del flujo vehicular.

**Factor de Carga.** - Es la relación del número total de intervalos con luz verde del semáforo que se utilizan completamente por el tránsito durante la hora de circulación máxima, al número total de intervalos verdes para ese acceso durante el mismo período de tiempo. Como el máximo número de intervalos que pueden ser utilizados completamente por el tránsito es el existente para esa fase, el valor máximo del factor de carga será igual a la unidad.

**Factor de la Hora de Máxima Demanda.** - Es la relación entre el volumen aforado en la hora de máxima demanda y el valor máximo de la circulación durante un período dado dentro de dicha hora, multiplicado por el número de veces que ese período cabe en una hora. El período dentro de la hora es considerado generalmente de 5 a 6 minutos para análisis en autopistas y de 15 minutos en las intersecciones. El valor máximo, que puede registrar este factor es de uno, que será en aquellos casos en que la circulación del tránsito registra los mismos volúmenes en todos los períodos iguales dentro de la hora de máxima demanda.

**Circulación Continua.** - Es referida a aquellos casos en que los vehículos circulan por un tramo de un camino sin tener que detenerse por una causa ajena a la operación vehicular, pero si por la naturaleza de la corriente vehicular de la que forma parte.

de vehículos. En casos extremos, tanto la velocidad como el volumen pueden descender a cero.

## FACTORES DETERMINANTES DE LA CAPACIDAD.

Antes de entrar en el campo de los factores reales que afectan la capacidad, es necesario enunciar otros términos cualitativos relativos a la operación del tránsito y aquellas que influyen a el comportamiento del flujo vehicular.

**Factor de Carga.** - Es la relación del número total de intervalos con luz verde del semáforo que se utilizan completamente por el tránsito durante la hora de circulación máxima, al número total de intervalos verdes para ese acceso durante el mismo período de tiempo. Como el máximo número de intervalos que pueden ser utilizados completamente por el tránsito es el existente para esa fase, el valor máximo del factor de carga será igual a la unidad.

**Factor de la Hora de Máxima Demanda.** - Es la relación entre el volumen aforado en la hora de máxima demanda y el valor máximo de la circulación durante un período dado dentro de dicha hora, multiplicado por el número de veces que ese período cabe en una hora. El período dentro de la hora es considerado generalmente de 5 ó 6 minutos para análisis en autopistas y de 15 minutos en las intersecciones. El valor máximo, que puede registrar este factor es de uno, que será en aquellos casos en que la circulación del tránsito registra los mismos volúmenes en todos los períodos iguales dentro de la hora de máxima demanda.

**Circulación Continua.** - Es referida a aquellos casos en que los vehículos circulan por un tramo de un camino sin tener que detenerse por una causa ajena a la operación vehicular, pero si por la naturaleza de la corriente vehicular de la que forma parte.

**Circulación Discontinua** - Se refiere a aquellos casos en los que los vehículos que recorren un tramo de un camino se ven obligados a detenerse por causas que no sean propias de la corriente de la que forma parte, tales como señales o semáforos en una intersección.

Es muy difícil que las condiciones tanto del tránsito como del camino sean ideales y por lo tanto, la capacidad debe ser reducida para tomar en consideración todos los factores adversos que afectan el flujo vehicular. Los volúmenes de servicio son afectados en similar manera.

Los diferentes factores que afectan la capacidad y los volúmenes de servicio son divididos en dos categorías. Factores debidos al camino y Factores debidos al tránsito.

#### **FACTORES DEBIDOS AL CAMINO.**

**Anchura de carril.** - La anchura de carril que se considera óptima es de 3.65 m, medida obtenida con experiencias de los Estados Unidos de Norteamérica, para fuertes volúmenes de tránsito. Un ancho de carril menor naturalmente que reducirá la capacidad.

**Obstáculos Laterales.** - Cualquier objeto colocado a menos distancia que 1.80 m. del borde del pavimento, reducirá el ancho efectivo del camino. La magnitud de este efecto dependerá por un lado de la mayor o menor cercanía al borde del pavimento y por el otro de la frecuencia con que se presentan dichos obstáculos. Los dos factores anteriores son reunidos en un factor de corrección combinado que es aplicado a la capacidad bajo condiciones ideales.

**Acotamientos.** - Estos deben ser proveídos al camino adecuadamente, para paradas de emergencia, que no interfieran con el flujo que sigue de frente.

**Carriles auxiliares.** - Estos son adicionados al camino y son construidos para diferentes usos, de acuerdo a la frecuencia con que determinadas condiciones se presentan. Así,

existen carriles especiales para vehículos lentos en pendientes ascendentes, carriles especiales para estacionamiento, carriles especiales para vueltas ya sea izquierdas o derechas, carriles especiales para entrecruzamiento, etc. Estos carriles son construidos con el fin de no entorpecer la circulación vehicular.

**Superficie de rodamiento.** - Cuando el pavimento presenta pobre terminación o se encuentra en malas condiciones éste reduce la velocidad que podría ser desarrollada y por lo tanto afecta los niveles de servicio, siendo la capacidad afectada en menor escala.

**Alineamiento.** - Un alineamiento de pobres características geométricas afecta la velocidad y por lo tanto los niveles de servicio. La capacidad es afectada por este factor, en camino de dos o tres carriles cuando la distancia de visibilidad de rebase es menor de 500 metros.

**Pendientes.** - Estas afectan tanto los niveles de servicio como la capacidad, de tres maneras.

1.- La distancia de frenado es menor en pendientes ascendentes y mayor en pendientes descendentes que en terrenos a nivel. Por lo tanto el espaciamiento entre vehículos será permitido menor en pendientes, ascendentes y deberá ser mayor en pendientes descendentes, para mantener un intervalo de seguridad.

2.- La presencia de una pendiente generalmente causa una restricción en la distancia de visibilidad, afectando por lo tanto el porcentaje del camino en el que las maniobras de rebase pueden ser realizadas con seguridad. Esto es aplicable solamente en caminos de 2 y 3 carriles de circulación.

3.- Los vehículos pesados, con su peso normal, viajan a menores velocidades en pendientes ascendentes que en caminos a nivel, especialmente cuando la pendiente es fuerte y de longitud considerable. Estos últimos considerados pueden afectar también a los-

automóviles aunque en menor escala, aunque estos pueden desarrollar velocidades mayores de 50 km/h. en pendientes de 6 y 7 %. Cuando los vehículos pesados reducen su velocidad a menos de 50 km./h, afectan ligeramente la capacidad, no así los niveles de servicio los cuales son seriamente afectados.

Una manera de resolver éste efecto adverso es mediante la adición de carriles especiales para vehículos lentos, sobre todo en caminos de carriles múltiples o de dos carriles de circulación.

#### FACTORES DEBIDOS AL TRANSITO.

Caminos que tengan iguales características geométricas pueden tener sin embargo, diferentes capacidades dependiendo de la composición vehicular, hábitos y deseos de los usuarios del camino, así como el tipo de control del tránsito. Estas consideraciones son tomadas en cuenta por medio de los factores de tránsito siguientes:

**Vehículos Pesados (Camiones).** - Estos vehículos con llantas dobles en uno o más ejes, ocupan más espacio que los automóviles (vehículos ligeros) y su presencia es tomada en consideración para determinar los "vehículos ligeros equivalentes". Un camión corresponde a varios vehículos ligeros dependiendo de determinados factores y principalmente del grado y longitud de la pendiente del tramo específico del camino, así como el tipo de camino en estudio.

Para un análisis aproximado es posible obtener el número de vehículos ligeros equivalentes de acuerdo al porcentaje de camiones y aplicarlos a todo el tramo analizado.

Un estudio más detallado requiere que se hagan estudios específicos por cada subtramo con características de pendientes diferentes.

Un volumen de vehículos de todo tipo podrá ser convertido a vehículos ligeros equivalentes, multiplicándolo por el factor de ajuste de camiones  $(100 - Pt + Et Pt)/100$  en -- donde Pt es el porcentaje de camiones y Et los vehículos ligeros equivalentes a un co-

mión

Autobuses.- Los autobuses foráneos tienen un efecto reductivo sobre la capacidad de un camino, pero en menor escala que los camiones. En cambio, el efecto que los autobuses urbanos tienen sobre la capacidad es totalmente diferente por el comportamiento funcional. Al respecto se han elaborado una serie de procedimientos y diagramas que permiten determinar su influencia. Más adelante se explicarán los diagramas y procedimientos mencionados.

Distribución por carriles .- La distribución del volumen total que circula en un sentido en caminos de carriles múltiples no es uniforme y varía con la ubicación del carril y con los cambios de volumen. Aunque el carril adyacente al hombro del camino, - lleva menos volumen que los otros, no se hace corrección alguna, ya que la capacidad fundamental es establecida en promedio como 2000 vehículos por hora y por carril, sin tomar en cuenta la distribución. En donde si deberá ser tomado en cuenta es en los enlaces o rampas de entrada y salida en las autopistas.

Variaciones en el volumen de tránsito.- Las variaciones del volumen vehicular dentro de la hora pico puede afectar seriamente las condiciones del flujo. Los análisis de capacidad son basados en volúmenes de tránsito en una hora total, puesto que la capacidad es definida en términos de vehículos por hora. Sin embargo, se hace notar que el flujo no es uniforme y que dentro de la hora de máxima demanda habrá intervalos en los que el volumen es mucho mayor. Para absorber éstos flujos en los que se podrían provocar congestionamientos, existe un factor llamado "De Hora de Máxima Demanda", que influye en la capacidad del camino. Se define como la relación entre el volumen de tránsito de la hora pico y la máxima proporción del flujo durante un intervalo de tiempo dentro de esa hora. El intervalo considerado varia-



de acuerdo al tipo de análisis a realizar, así, se considera de 5 minutos para autopista y 15 minutos para intersecciones. El valor máximo de este factor es de la unidad y en estos casos, el tránsito tiende a ser uniforme.

**Interrupciones en el Tránsito.** - Cualquier dispositivo colocado en una calle o carretera para controlar el tránsito reducirá la capacidad del mismo. Una vez parado, el tránsito puede ponerse en movimiento nuevamente a razón de 1500 vehículos por hora, considerando un intervalo de 24 segundos.

Los típicos motivos de interrupción los constituyen entre otros, intersecciones a nivel, casetas de cobro, puentes levadizos, y cruces con el ferrocarril. Cuando el Nivel de Servicio es adecuado, es decir con flujos abajo, de 1500 vehículos por hora, la interrupción no provocará grandes problemas, no siendo así cuando el volumen se acerca a la capacidad ya que entonces serán formadas colas y congestionamientos.

## ANALISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO .

### I - En Autopistas

Como ya ha sido comentado, éste tipo de caminos proporcionan un alto nivel de servicio, dado que las condicionantes tanto físicas como operacionales son o tienden a ser ideales

Los procedimientos empleados tanto para calcular los niveles de servicio como la capacidad tienden a hacerse separadamente para cada elemento de una autopista, ya que cada uno de estos tiene características funcionales diferentes. Entre estos elementos podemos anotar las rampas de entrada y salida, zonas de entrecruzamiento, etc. Asimismo, estos procedimientos son útiles para proyectar que una autopista funcione a un determinado nivel de servicio una vez predcidos los volúmenes de proyecto. Es muy conveniente, que al determinar el nivel de servicio, éste sea mantenido a todo lo largo del camino. Esto no quiere decir que si una sección del mismo es proyectado para un nivel de servicio B, éste mismo nivel tenga que ser mantenido en un elemento particular, por ejemplo una rampa de salida. En estos casos, deberá procurarse que el nivel de servicio de un elemento a otro no rebase en una calidad, es decir si la autopista es proyectada para un nivel de servicio B, las rampas de entrada y salida pueden ser proyectadas para funcionar a un nivel de servicio C. Es decir el análisis, deber ser realizado dividiendo la autopista en secciones específicas.

Las principales características que deber de reunir este tipo de caminos son entre otras:

- 1.- No vehículos comerciales en la corriente vehicular.
- 2.- Características geométricas tales, que permitan desarrollar velocidades de 110 Km/h.
- 3.- Anchos de carril de 3.65 m.

4.- No existencia de obstrucciones laterales por lo menos a 1.80 m. del borde del pavimento

Una de las medidas fundamentales para la determinación de los niveles de servicio en autopistas y vías rápidas es la relación volumen-capacidad en conjunción con la velocidad de operación, en la figura No. 6, se presenta ésta relación.

La fórmula a emplear para el cálculo de la capacidad y la cual es una conjunción de diferentes factores ya enumerados, es como sigue:

$$C = 2000 N (v/c) W T_c.$$

en donde:

C= Capacidad (tránsito mixto en vehículos por hora, en un sentido).

N= Número de carriles ( en una dirección).

v/c= Relación de volumen-capacidad (v/c=1.0 para este caso).

W= Factor de ajuste por anchura de carril y distancia a obstáculos laterales.

T<sub>c</sub>= Factor de ajuste, por vehículos pesados.

Para el cálculo del volumen de servicio, el procedimiento es similar al anterior, sólo que en este caso la relación v/c variará de acuerdo al nivel de servicio deseado, así mismo, los valores correspondientes al porcentaje de vehículos pesados variará de acuerdo al nivel de servicio considerado. Para los niveles de servicio C y D, el factor de la hora de máxima demanda deberá ser tomado en consideración. Las figuras y tablas siguientes, nos determinan los factores que intervienen en la fórmula.

Si lo que quiere ser conocido es el nivel de servicio a la que está funcionando la autopista, puede éste ser conocido si se tienen datos de velocidad de operación, volumen existente, el factor de la hora de máxima demanda y la velocidad de proyecto ponderada. Si no son conocidos estos datos, deberá entonces suponerse un nivel de servicio, de acuerdo a las características geométricas y vehiculares del camino para determinar el

volumen de servicio, el cual deberá ser comparado al volumen existente. Si son similares, la suposición ha sido acertada, de otro modo, deberá hacerse otra iteración.

### 2.- En carreteras de Carriles Múltiples

El análisis de capacidad y niveles de servicio en este tipo de carreteras es similar al realizado en las autopistas. La diferencia estriba en que los factores afectantes de la capacidad y niveles de servicio son diferentes por las condiciones de operación. En efecto, en autopistas la eficiencia de la operación y por ende la capacidad es mucho mayor que en caminos de carriles múltiples, ya que en estos últimos no tienen faja separadora central existiendo restricciones por operación del flujo vehicular contrario. Por lo anterior, las velocidades de operación en este tipo de caminos es más baja y por lo tanto la relación volumen-capacidad:

### 3.- En carreteras de dos carriles.

El análisis de capacidad y niveles de servicio en este tipo de caminos es completamente diferentes que el de los dos anteriores. Lo anterior estriba en que, por un lado — existen restricciones de operación al haber flujos vehiculares adyacentes circulando en sentido contrario; por otro lado, el rebase es efectuado en el carril de circulación contraria y sólo cuando las características geométricas y la ausencia de vehículos en el sentido contrario lo permite. Por lo anterior los volúmenes que pueden circular por dichos caminos es menor y por ende la capacidad. Conforme crece el volumen la velocidad de operación tiende a decrecer aún cuando exista la distancia de visibilidad de rebase requerida. Para una mayor circulación y mayores volúmenes de servicio, es necesario que la distancia de visibilidad de rebase sea mayor a 500 m.

Dentro de los factores que se consideran para el análisis, además de los que afectan a las autopistas y carriles múltiples, existen las interrupciones del tránsito, que como

que influyen grandemente en el análisis. Todo tipo de interrupciones momentáneas, como composuras o accidentes que provoquen paradas de corta duración están contempladas en los factores que afectan la capacidad y los niveles de servicio.

Cuando existan paradas frecuentes por cualquiera de estas condicionantes, deberá preverse el que se piense seriamente en el proyecto de un camino de cuatro carriles.

La fórmula a emplear para determinación de la capacidad en este tipo de caminos, es como sigue.

$$C=2000 (v/c) W_c T_c.$$

en donde

C= Capacidad (tránsito mixto en vehículos por hora, en ambos sentidos).

v/c= Relación volumen-capacidad (v/c=1.0 en este caso).

W<sub>c</sub>=Factor de ajuste, por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales.

T<sub>c</sub>=Factor de ajuste, por vehículos pesados.

Para el cálculo del volumen de servicio, la fórmula anterior es similar, cambiando únicamente los valores de los factores de acuerdo a las condicionantes geométricas y operacionales del camino.

De la misma manera, la obtención del Nivel de Servicio se hará siguiendo la secuela explicada para autopista y caminos de carriles múltiples; es decir, se supondrá un nivel de servicio para determinar los factores correspondientes, con los cuales será obtenido un volumen de servicio. Este volumen de servicio será comparado con el volumen existente en el tramo analizado. Si la diferencia es muy marcada, será realizado un nuevo tanteo para encontrar el nivel de servicio buscado.

4.- En zonas de entrecruzamiento.

Es de vital importancia el realizar análisis de operación en estos elementos de una arte-

rial vial, para que exista un balance adecuado entre los diferentes elementos que componen un tramo de arteria.

En las zonas de entrecruzamiento se presentan las siguientes variaciones operacionales

a) - Volúmenes que se entrecruzan. - Son aquellos que cruzan la trayectoria vehicular de otros para poder seguir hacia su destino.

b). - Volúmenes que no se entrecruzan. - En este caso se presentan dos movimientos de convergencia o incorporaciones y de divergencia.

Los elementos geométricos que deben considerarse en el análisis de zonas de entrecruzamiento son las longitudes propiamente dichas, las cuales son medidas entre las narices-- de entrada y salida y la anchura de la zona de entrecruzamiento.

En todo caso, el volumen que cruza las líneas imaginarias entre las narices de entrada y salida, no es mayor en ningún momento que el volumen máximo que puede alojar un carril sencillo. Es por esto que las zonas de entrecruzamiento deben tener un ancho adicional. Asimismo, conforme los volúmenes se entrecruzan, es necesario una mayor longitud de entrecruzamiento. Cuando el tránsito que se entrecruza se aproxima a un volumen igual al doble de la capacidad de un carril sencillo, se requiere teóricamente tres veces más longitud que la necesaria para un volumen de entrecruzamiento equivalente a la capacidad de un carril sencillo.

Los resultados del análisis de la operación de las zonas de entrecruzamiento son conocidos como "calidades de flujo", existiendo desde 1 hasta V según la mayor o menor operación en dichas zonas.

Fórmulas a emplear:

a).- Determinación del ancho de entrecruzamiento:

$$N = \frac{V_w + k V_{wz} + V_{ol} + V_{oz}}{VS}$$

6

$$N = \frac{V + (k-1) V_{wz}}{VS}$$

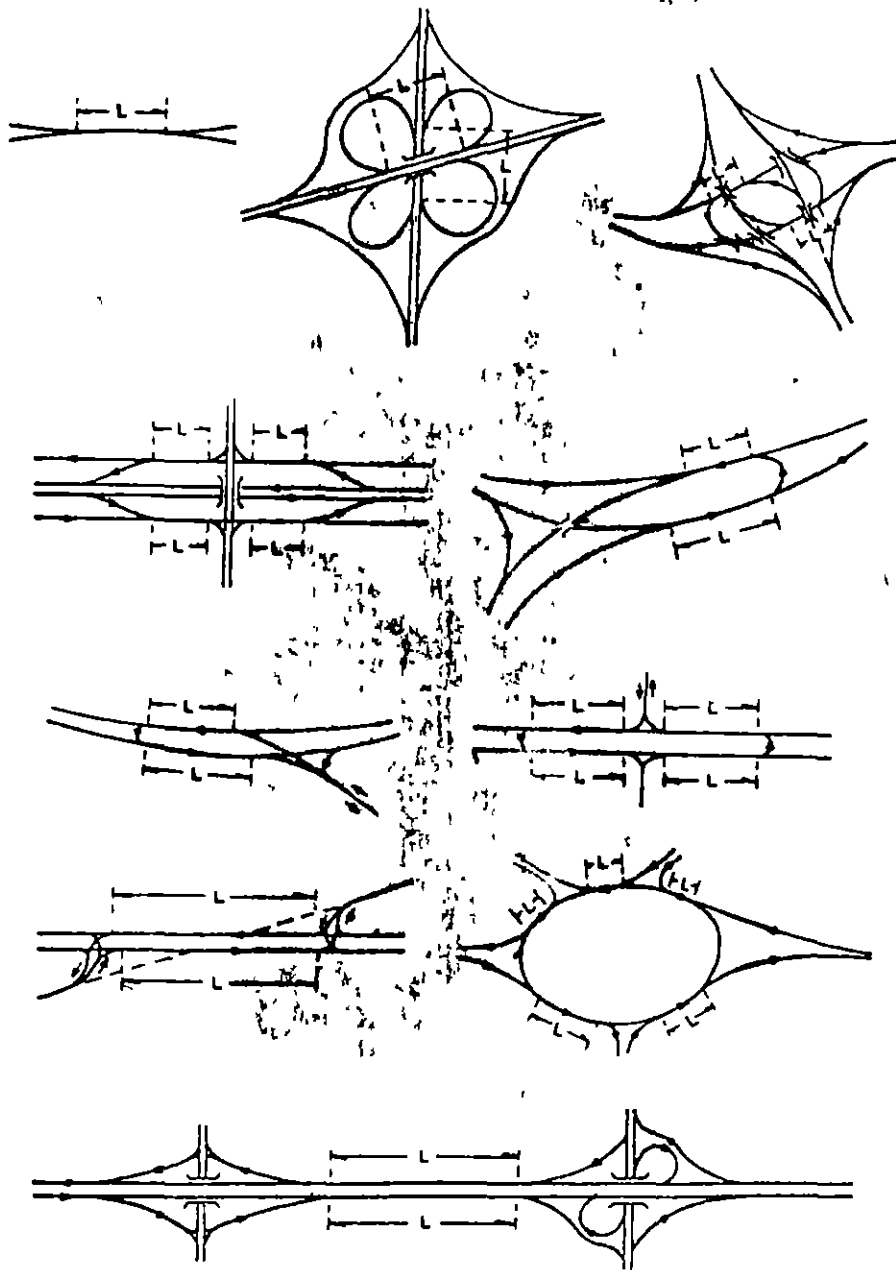
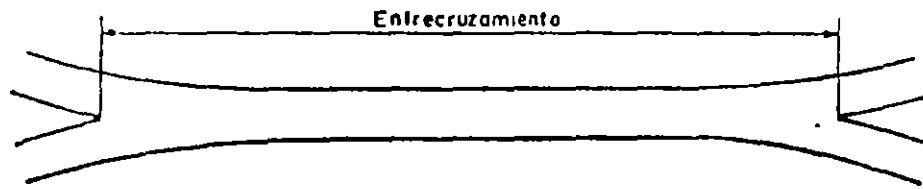
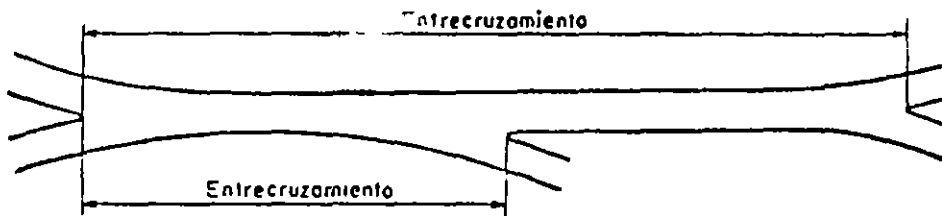


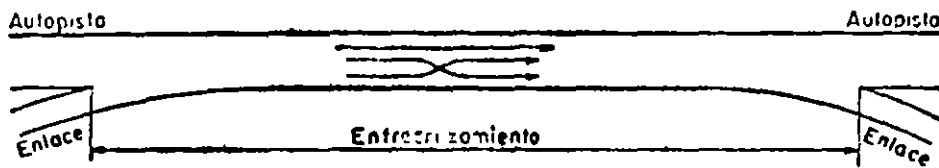
FIGURA 628 FORMACION DE ZONAS DE ENTRECruzAMIENTO



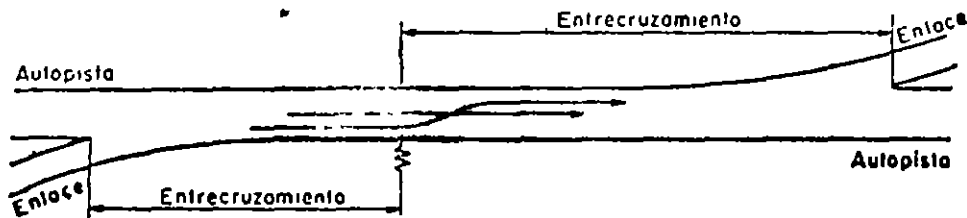
(A) ENTRECruzamiento SIMPLE



(B) ENTRECruzamiento MULTIPLE



(C) ENTRECruzamiento EN UN SOLO LADO



(D) ENTRECruzamiento EN DOS LADOS

FIGURA 4.29. TIPOS DE ZONAS DE ENTRECruzamiento



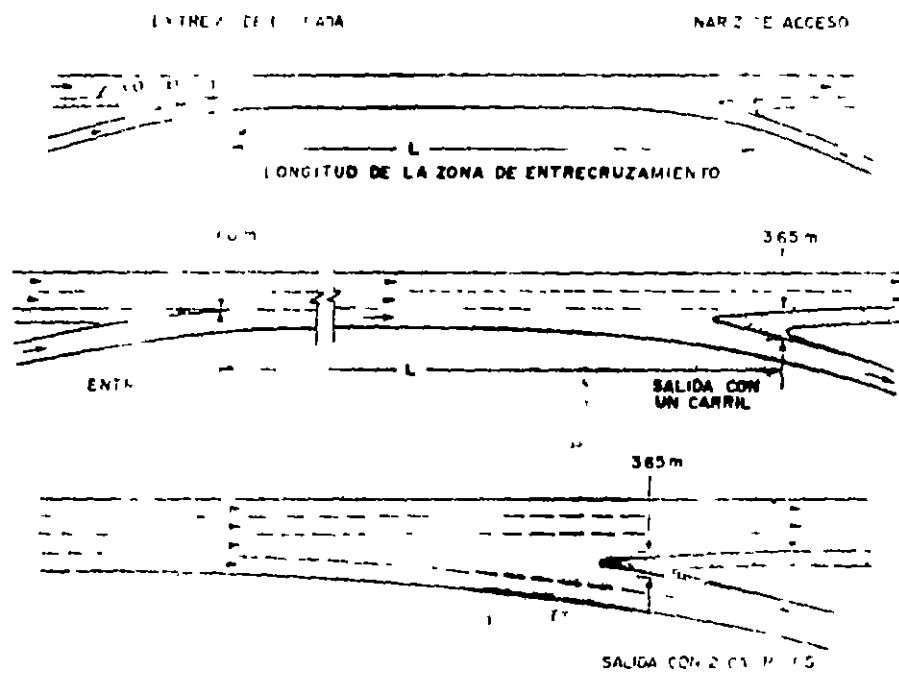


FIGURA 63: METODO PARA MEDIR LONGITUDES DE ZONAS DE ENTRECruzAMIENTO

CALIDAD DE FLUJO (a)				
NIVEL DE SERVICIO	ADROPIADAS Y CARRETERAS DE CARRILES MÚLTIPLES		En caminos de DOS CARRILES	EN ARTERIAS URBANAS Y SUBURBANAS
	En la carretera	En los entrecruces		
A	I -- II	II -- III	II	III -- IV
B	II	III	II -- III	III -- IV
C	II -- III	III -- IV	III	IV
D	III -- IV	IV	IV	IV
E (b)	IV -- V	V	V	V
F	No satisfactorio(s)			

(a) Representada por las curvas de la Figura 6-30. Las relaciones abajo de la línea gruesa normalmente no se consideran para proyecto. Cuando aparecen dos valores el de la izquierda es el deseable y el de la derecha el mínimo.

(b) Operación a la capacidad.

(c) Volumen máximo equivalente a la calidad del flujo V, pero puede ser mucho más bajo.

**TABLA 6-R. RELACIONES ENTRE LOS NIVELES DE SERVICIO EN EL CAMINO Y LA CALIDAD DEL FLUJO EN LAS ZONAS DEL ENTRECruzAMIENTO**

en donde

$N$  = Número de carriles necesarios.

$V_{v1}$  = Volumen mayor que se entrecruza (vph).

$k$  = Factor de influencia del entrecruzamiento

$V_{wz}$  = Volumen menor que se entrecruza (vph).

$V_{o1}$  y  $V_{o2}$  = Volumen que no se entrecruza.

$V$  = Volumen total (que se entrecruza y que no se entrecruza).

$VS$  = Volumen de servicio apropiado o capacidad por carril, en los accesos de entrada y salida (vph).

b).- Determinación de la longitud de entrecruzamiento:

Esta longitud es determinada directamente de la gráfica No. 7, en donde:

$L$  = Longitud de la zona de entrecruzamiento.

$V_{w1} + V_{w2}$  = Total de vehículos que se entrecruzan.

Como característica diferencial entre las dos determinaciones anteriores se especifican que para el análisis de la anchura de la zona de entrecruzamiento el volumen que interviene en la fórmula es tránsito mixto en vehículos por hora, en cambio en el uso de la gráfica para la determinación de la longitud de entrecruzamiento, los volúmenes son referidos a vehículos ligeros equivalentes.

5.- En Vías de Enlace.

Estos son elementos de un camino y que los cuales deber ser diseñados adecuadamente para que su funcionamiento sea congruente con el nivel de servicio proyectado para el camino al cual pertenece. Estas vías permiten al tránsito cambiar de un camino a otro.

En las intersecciones son aquellas que unen dos ramas de una intersección. Estas vías generalmente son construídas en caminos con altos volúmenes de tránsito y ubicadas en puntos estratégicos que permita al usuario el salir a incorporarse al camino. Son-

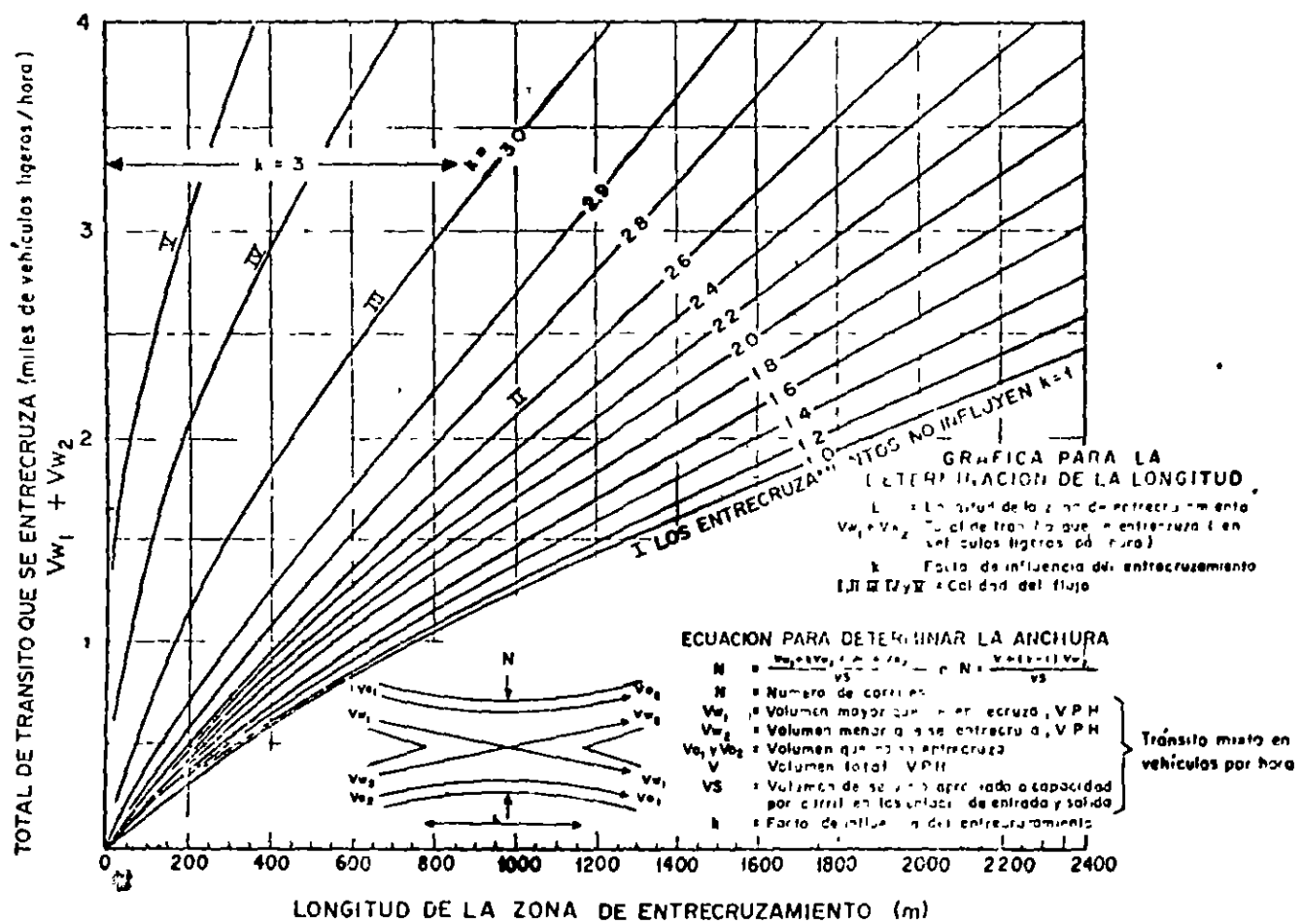


FIGURA 6.30 CARACTERISTICAS DE OPERACION EN LAS ZONAS DE ENTCREUZAMIENTO

Fig 7

aplicados generalmente a caminos con control de accesos, es decir autopistas.

Factores que deben ser tomados en cuenta para buen diseño de vías de enlace:

1.- La longitud entre vías de enlace sucesivas debe ser de tal manera que no existan entrecruzamientos entre los volúmenes que entran y sales de la autopista. En su defecto, estas longitudes deben ser de tal magnitud que permita el entrecruzamiento adecuado entre vehículos.

2.- Los volúmenes que se consideren para el proyecto, deberán ser los correspondientes a la hora de máxima demanda, pero desglosados en períodos más cortos que el de una hora, para tomar aquellos valores críticos que representen las características operacionales más desfavorables.

3.- Proyecto de carriles de aceleración y deceleración. Esto es conveniente, ya que permite a los vehículos adquirir la velocidad predominante del camino al que va a incorporarse. Es decir estos carriles permiten establecer una velocidad relativa nula o muy pequeña y evita conflictos entre los movimientos vehiculares.

4.- Puntos de control para análisis de capacidad.- Los enlaces tienen generalmente 3 puntos en los cuales la capacidad es diferente.

a).- En el extremo que conecta con la autopista.

b).- En el extremo de conexión con el camino secundario.

c).- En la vía propiamente dicha.

De los tres puntos anteriores, la capacidad de la vía de enlace corresponderá al mínimo valor encontrado.

Dentro de los elementos que hacen que una vía de enlace no pueda alcanzar una capacidad de 2000 vehículos por hora, que sería posible sólo con condiciones ideales, se encuentran las características geométricas de la vía, es decir curvas, pendientes, etc., y principalmente el volumen del carril adyacente a la rampa, de la autopista.

5 - Condiciones de los enlaces de entrada y salida - La capacidad de los enlaces en estos puntos dependerá grandemente de la estimación de los volúmenes que operen en la zona de maniobra, ya sea convergencia o divergencia, tanto del carril exterior de la autopista como de los enlaces.

Como el comportamiento vehicular en los enlaces es completamente diferente al camino, han sido establecidos Niveles de Servicio específicos para estos elementos del camino.

Nivel de Servicio A.- No existen restricciones de operación. El número de vehículos de convergencia es de 1000 vehículos por hora, incluidos tanto los vehículos del carril exterior de la autopista, como los del enlace. La velocidad que se desarrolla en este nivel es aproximadamente 100 km./h.

Nivel de Servicio B.- Aparecen pequeñas restricciones de operación. El volumen de convergencia no debe exceder de 1200 vehículos por hora y la velocidad desarrollada es aproximadamente de 90 km./h.

Nivel de Servicio C.- Representa el límite para una circulación sin interrupciones. El volumen máximo es de 1300 a 1550 vehículos por hora en convergencias y de 1400 a 1550 vehículos por hora en divergencias, dependiendo del factor de la hora de máxima demanda.

Nivel de Servicio D.- Nivel tendiente a la inestabilidad de flujo y a formación de colas. El máximo número de vehículos que pueden alojar es de aproximadamente 1800 vehículos por hora a velocidades de 65 km./h.

Nivel de Servicio E.- La capacidad en este nivel es de 2000 vehículos por hora y las velocidades desarrolladas fluctúan entre 30 y 50 km./h. Se producen paradas y congestionamientos momentáneos y un incremento en el volumen de tránsito provocará el flujo forzado, representado por el Nivel de Servicio F.

Nivel de Servicio F - Este, se caracteriza por paradas y congestionamientos continuos. Los volúmenes anotados para cada Nivel de Servicio corresponden a enlaces bajo condiciones ideales y sin anchuras adicionales de la calzada del camino. La adición de un carril auxiliar para los movimientos de convergencia o divergencia ayudarán e incrementarán notablemente la operación del camino.

La comparación del volumen de servicio para un nivel considerado con el volumen de demanda determinará la buena o mala operación de los enlaces.

Para la determinación de los volúmenes de servicio se hace uso de una serie de ecuaciones dentro de las cuales se tomará aquella que más se apegue a las características operacionales y geométricas del camino que se está analizando. Para lo anterior, será necesario:

a).- Establecer las características geométricas del lugar en estudio, incluyendo número de carriles de la autopista, ubicación y tipo de los enlaces adyacentes.

b).- Establézcanse los volúmenes de demanda para todos los movimientos vehiculares.

c).- Elegir de los diferentes casos que son mostrados, aquel que más se apegue al caso analizado, y por lo tanto emplear la ecuación correspondiente.

d).- Hacer uso de la tabla que se muestra para comparar los volúmenes de convergencia, divergencia o entrecruzamiento según el caso, con los volúmenes de servicio que en dicha tabla aparecen.

Los volúmenes a comparar con los de la tabla son:

1.- Convergencia.- La suma del carril No. 1 calculado, con el que entra por el enlace.

2.- Divergencia.- El volumen del carril No. 1 calculado, antes de la salida.

Entrecruzamiento - La suma de los vehículos de los enlaces (cuando la distancia entre ellos es corta)

Cuando existan carriles auxiliares entre enlaces de entrada y salida deben ser calculados los volúmenes en el carril auxiliar y en el No. 1 de la autopista y compararlos con los de convergencia o divergencia dependiendo del punto seleccionado para el estudio. Se supone convergencia, cuando el punto seleccionado está en la parte central del carril auxiliar o más próxima a la convergencia. Será divergencia cuando el punto seleccionado esté más próximo a la salida.

En el caso de enlaces de dos carriles, los diferentes volúmenes de convergencia y divergencia por verificar, se compara con los volúmenes de servicio de convergencia y de divergencia de la tabla ya mencionada.

Para un buen funcionamiento de los enlaces y la autopista, los volúmenes de demanda no deberán exceder los volúmenes de servicio para el nivel considerado. En caso de que sean excedidos deberán hacerse modificaciones para mantener dicho Nivel, tales como agregar otro carril auxiliar, aumentar la distancia entre los enlaces, aumentar el número de carriles de la autopista o distribuir entre dos enlaces los volúmenes altos de un enlace.

En las figuras que se ilustran se muestran los diferentes casos, con sus ecuaciones y restricciones correspondientes, que sirven de base para el cálculo del volumen de vehículos del carril No. 1 de la autopista, es decir el exterior al cual se conecta directamente al enlace.

Cuando se tienen carriles auxiliares entre enlaces de entrada y salida, el cambio del carril 1 al auxiliar o viceversa, hace el que se tengan que analizar puntos seleccionados entre ambos enlaces, debiéndose asimismo, verificar los volúmenes de entrecruza



miento cada 150m.

El procedimiento a seguir es el siguiente

Los volúmenes del carril No. 1 y del auxiliar, deberán ser verificados por separado, comparándolos con los de la tabla, como se indicó anteriormente. Para una verificación de volúmenes en todos los carriles de una autopista, no deberá incluirse el volumen correspondiente al carril auxiliar.

a).- Determinése el volumen del carril No. 1, usando la ecuación apropiada. - Este volumen No. 1 se considera que está compuesto por los que seguirán de frente y todos los que saldrán.

b).- Réstese del volumen del carril No. 1, el que saldrá en el enlace de salida.

c).- Háganse verificaciones de volúmenes en el carril No. 1 y en el auxiliar en puntos situados entre enlaces. Estos volúmenes se determinarán de la manera siguiente:

Volumen en carril 1 = Vehículos en carril 1 (de paso) + Veh en carril 1 provenientes del enlace de entrada, fuera del carril auxiliar (curva superior de la fig. 8) + vehículos que usarán el enlace de salida pero que aún permanecen en el carril No. 1 (deducido de la curva inferior de la fig. 8).

Volumen en el carril auxiliar = Vehículos provenientes del enlace de entrada, que aún permanecen en el carril auxiliar (deducido de la curva superior de la fig. 8) + vehículos que usarán el enlace de salida y que se han cambiado al carril auxiliar (de la curva inferior de la fig. 8).

El punto más crítico puede ser seleccionado al observar el comportamiento de las --

NIVEL DE SERVICIO	VOLUMEN DE SERVICIO EN LA AUTOPISTA EN UNA DIRECCION (vph)			VOLUMEN DE SERVICIO EN EL PUNTO DE VERIFICACION (vph)		
	4 CARRILES 2 para cada sentido	6 CARRILES 3 para cada sentido	8 CARRILES 4 para cada sentido	CONVERGENCIA <sup>b</sup>	DIVERGENCIA <sup>c</sup>	ENTRECruzAMIENTO <sup>d</sup>
A	1400	2400	3400	1000	1100	800
B	2000	3500	5000	1200	1300	1000
FACTORES DE LA HOJA DE DEMANDA	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00
C	2300 2400 2750 3000	3750 4000 4550 4800	5100 5500 6000 6600	1300 1400 1550 1700	1400 1500 1650 1800	1100 1200 1350 1450
D	2800 3000 3300 3600	4150 4500 4900 5400	5600 6000 6600 7200	1400 1500 1650 1800	1500 1600 1750 1900	1400 1500 1650 1800
E <sup>e</sup>	≤ 4000	≤ 6000	≤ 8000	≤ 2000	≤ 2000	≤ 2000
F	<	<	<	<	<	<

a - Para usarse en verificaciones del volumen de servicio en la autopista entre enlaces sucesivos

b - Representa el volumen de servicio constituido por la suma del volumen calculado para el carril numero 1 mas el volumen en el enlace de acceso

c - Representa el volumen de servicio en el carril numero 1 inmediatamente antes de un enlace de salida incluye vehiculos de paso y vehiculos con probabilidad de usar el enlace de salida

d - Representa el volumen de servicio en puntos espaciados a cada 150 m. entre enlaces de entrada y salida

e - Capacidad

TABLA 6.5 VOLUMENES DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN LOS EXTREMOS DE LOS ENLACES (TRANSITO MIXTO EN VEHICULOS POR HORA EN UNA DIRECCION, SUPONIENDO TERRENO A NIVEL Y UN PORCENTAJE DE CAMIONES NO MAYOR DEL 5%)

curvas de la fig. 8 y de la observación de los volúmenes de cada enlace.

Del análisis de dichas curvas se aprecia que los puntos a analizar están comprendidos entre 0.5 y 0.6 de la distancia entre los enlaces. Si la suma del volumen del carril 1 y el volumen del enlace de entrada no excede al 150% del volumen de servicio de convergencia indicado en la tabla anterior se sugiere como regla práctica, - verificar el volumen en el punto medio de la longitud del carril auxiliar.

El procedimiento anterior toma en cuenta un 5% de vehículos pesados en la composición vehicular, y con terreno a nivel. Para porcentajes mayores o pendientes importantes, deberá hacerse uso de la fig. 8 en la cual se muestra el porcentaje del total de camiones en un sólo sentido, que probablemente circulará por el carril 1. Con este porcentaje se obtiene el número de camiones en dicho carril y por consiguiente el porcentaje de camiones en función del volumen de tránsito en el mencionado carril.

Conocido el porcentaje será determinado la equivalencia de vehículos ligeros y por lo tanto el factor de ajuste.

Multiplicando el volumen del carril 1 por 0.91 (factor de ajuste real por camiones), se obtendrá el equivalente de vehículos ligeros, quedando implícito en el cálculo el 5% que se toma como base en el procedimiento.

#### 6.- En Intersecciones a Nivel controladas con Semáforos.

Estos puntos a lo largo de las arterias viales son los elementos críticos que requieren mayor consideración ya que son estos puntos precisamente en donde se presentan las interrupciones de la continuidad del tránsito, limitando la operación del mismo. Estas interrupciones cuando son importantes, hacen sentir sus efectos en intersecciones adyacentes y por consiguiente en tramos del sistema vial.

Los elementos que merecen consideración en las intersecciones son entre otras:

#### A.- Características físicas de operación.

a).- Anchura del acceso.- Entiéndese como anchura de acceso el ancho de cal-

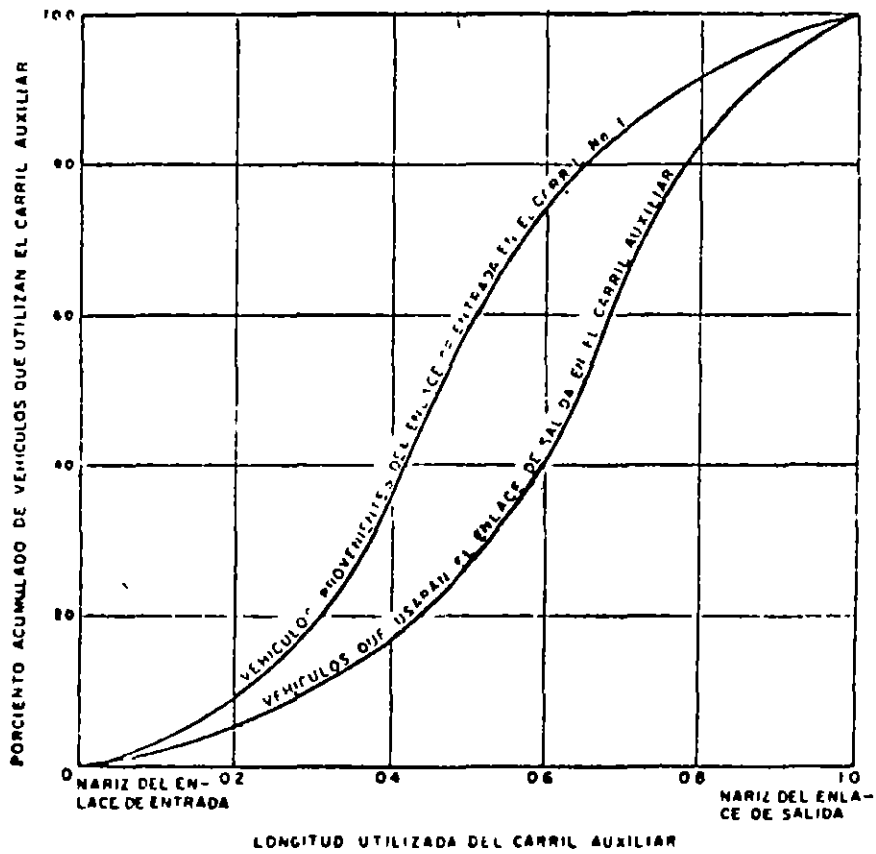


FIGURA 6.51 USO DEL CARRIL AUXILIAR ENTRE ENLACES DE ENTRADA Y SALIDA ADYACENTES

Fig

zado destinado para un sentido de circulación. En este tipo de análisis es más importante el ancho del acceso que el número de carriles disponible en dicho acceso

b) Estacionamiento - La presencia o ausencia de éste en una intersección, cambia por completo la capacidad que puede alojar la misma. Es por consiguiente que debe ser muy tomado en cuenta en el análisis de intersecciones. Se entiende como estacionamiento en este análisis, la permanencia de vehículos todo el tiempo. Cuando el estacionamiento es prohibido, las paradas de autobuses antes de cruzar la intersección, no son consideradas como estacionamiento, aunque sí influyen en el análisis de capacidad. Para que una intersección pueda ser considerada sin estacionamiento, la distancia que debe haber entre ésta y el punto donde si se permite el estacionamiento, debe ser como mínimo de 75.0 metros.

c).- Operación en uno o dos sentidos.- Este elemento influye en el análisis ya que el que exista doble sentido de circulación abate la capacidad de la intersección al existir movimientos tales como vueltas izquierdas, o en su defecto al suprimirlas - provoca incomodidades de los usuarios.

## B.- Condiciones Ambientales.

a).- Factor de carga.- Este concepto es una medida del grado de utilización del acceso de una intersección durante una hora de flujo máximo, es definido como la relación entre el número de fases verdes que están cargadas, o totalmente utilizadas por el tránsito en hora de máxima demanda, y el número total de fases verdes de ese mismo acceso durante la misma hora. Se dice que una fase está cargada cuando existen vehículos en todos los carriles del acceso esperando se inicie la fase verde y además durante la misma fase siguen llegando vehículos a la intersección sin pérdida de tiempo y con frecuencias cortas entre vehículos.

b) Factor de la hora de máxima demanda.- Este concepto ya fué tratado con anterioridad y su uso estriba en determinar un coeficiente que permita hacer sentir la influencia de las variaciones del tránsito durante la hora de máxima demanda.

c) Población del área metropolitana - La influencia de este aspecto fué determinado en la investigación de los efectos que tiene en los análisis de capacidad el tamaño de la población de la ciudad. Fué determinado que intersecciones en poblaciones mayores aceptan más capacidad que en pequeñas urbes, debido quizá a que el usuario en las grandes urbes está más habituado a grandes densidades o concentraciones de tránsito.

El efecto de este concepto, junto con el de la hora de máxima demanda están contempladas, para efectos de análisis dentro de un mismo factor de ajuste.

d).- Ubicación de la intersección dentro del área metropolitana.- La capacidad de una intersección con condiciones similares, varía de acuerdo a la ubicación que tenga dentro del área metropolitana. Para propósitos de análisis se distinguen cuatro tipos de zonas: zona comercial en el centro de la ciudad, zona comercial fuera del centro y zona residencial.

### C.- Características del Tránsito.

a).- Movimientos de vuelta.- Estos influyen notablemente en la capacidad de un acceso y sus efectos se manifiestan de las formas siguientes:

#### 1.- Vueltas Izquierdas.

El efecto por vehículo en el acceso de una intersección es menor, cuando dos o más vehículos sucesivos dan vuelta a la izquierda, que cuando vehículos aislados realizan ese movimiento.

El efecto de una vuelta izquierda está influenciado por los peatones existen-

El efecto de la vuelta izquierda de un vehículo esperando es más pronunciado en calle estrechas que en calle anchas.

La anchura de la calle transversal afecta la velocidad de los vehículos que dan vuelta, debido a que en calles anchas los radios de giro son mayores habiendo más facilidad de operación.

## II.- Vueltas derechas:

Dos o más vehículos sucesivos dando vuelta, tienen mayor efecto que si dieran vuelta aisladamente.

Los movimientos de vuelta son afectados por el tránsito de peatones.

Un vehículo dando vuelta a la derecha causa una reducción en la capacidad mayor, si la calle es ancha.

La anchura de la calle transversal afecta la capacidad en mayor grado cuando es angosta, debido a que los radios de giro son menores. Este efecto puede ser mayor que para vueltas izquierdas.

b).- Vehículos pesados.- Dentro de este concepto quedan involucrados los camiones y autobuses foráneos. El efecto sobre la composición vehicular en este tipo de análisis no ha sido plenamente investigado, por los factores de ajuste son aproximados.

c).- Autobuses urbanos.- Estos tienen un efecto importante en la capacidad dependiendo del número de ellos, del ancho del acceso, de la ubicación de la intersección dentro del área de la ubicación de la parada y de si existe o no estacionamiento.

Investigaciones realizadas indican que una parada de autobús ubicada después de la intersección, incrementa la capacidad del acceso correspondiente de la misma.

## D - Medidas de Control

a) - Semáforos - Estos son proyectados y colocados con la finalidad de regular el tránsito que circula por los diferentes accesos de una intersección. Constan de tres tipos de indicaciones: luz verde (siga), luz ámbar (preventiva) y luz roja (alto). Con lo anterior es lógico que el número de vehículos que pudieran circular a través de la intersección son menores por la aparición de la luz roja.

Es por esto que al hablar de volúmenes en intersecciones controladas con semáforos, sean referidos a vehículos por hora de luz verde del semáforo.

El efecto de un semáforo en la capacidad del acceso en término de vehículos por hora de luz verde, radica en el grado en el cual detiene a los vehículos en movimiento. Así por ejemplo, en intersecciones aisladas, cuando todo el tránsito es detenido antes de entrar a la intersección, raras veces serán obtenidos volúmenes máximos de 1500 vehículos por hora de luz verde, por carril. Por otro lado, si ningún vehículo es detenido, por ejemplo en ejes con intersecciones controlados con un sistema sin cronizado de semáforos podrá obtenerse un volumen de 2000 vehículos por hora de luz verde, por carril. Por lo anterior, es lógico que los volúmenes por hora efectiva serán menores.

Programación del semáforo.-Dependerá del número de vehículos que hará uso en los diferentes accesos de la intersección. A cada uno de los accesos deberá asignársele un tiempo de verde ya sea el correspondiente a otro acceso que no presente interferencias con el primero o uno específico. Para tal, deberán calcularse en primer lugar el número de fases con que deberá contar el semáforo, tomando en cuenta los volúmenes sean altos. Una vez determinado el número de fases, el siguiente paso será el determinar la longitud del ciclo del semáforo.



Longitud del ciclo - Es el tiempo requerido para una secuencia completa de las indicaciones de la luz del semáforo (verde + amarillo + rojo). La experiencia ha demostrado que mientras más cortos sean los ciclos, mayor será el aprovechamiento del mismo. Naturalmente, dichos ciclos deberán ser determinados de tal manera que satisfagan las demandas vehiculares de cada uno de los accesos. Las longitudes de ciclo que mejores resultados han dado, se encuentran entre 50 y 60 segundos. Longitudes menores no operan satisfactoriamente y deberá considerarse que tratarán de evitarse tiempos de verde menores a 15 segundos. Longitudes mayores de 60 segundos serán proyectados cuando las demandas vehiculares así lo requieran, ya que el proyectar longitudes de ciclos grandes para dar mayores tiempos de luz verde en un eje en particular, pueden provocar colas, desesperación y falta de respeto a las indicaciones del semáforo. Asimismo, son permitidos mayores ciclos, cuando es necesario coordinar los semáforos de una arteria, con el fin de proporcionar una ola de verde adecuada.

Relación tiempo de luz verde al ciclo (G/C). - Este factor es empleado para convertir vehículos por hora de luz verde, a vehículos por hora efectivos. A menos que las diferentes fases del semáforo estén accionadas por el flujo vehicular, la relación G/C se mantiene constante a lo largo de todo el día o por periodos específicos dentro del día para satisfacer las variaciones de la demanda a lo largo del día.

b). - Número de Carriles por Acceso. - Como ya fue asentado con anterioridad, el ancho del acceso tiene más influencia en este tipo de análisis que el número de carriles. Sin embargo, se ha establecido una relación entre anchuras de carril y número de carriles como sigue :

	Ancho del Acceso (mts )	Numero de Carriles
Hasta	5 00	1
	5 50 a 7 50	2
	8 00 a 12.00	3
	12 50 a 16.50,	4

### CAPACIDAD, NIVELES Y VOLUMENES DE SERVICIO.

Como fué analizado al hablar de análisis de capacidad y niveles de servicio en caminos con flujo continuo, la velocidad de operación influye grandemente en la determinación de la calidad del flujo. En este análisis en cambio no puede tomarse como determinante a la velocidad, ya que las intersecciones controladas con semáforos provocan paradas intencionales. Una medida más adecuada para la determinación de los niveles de servicio es el factor de carga, ya que este nos indicará la mayor o menor calidad de flujo vehicular. Por lo tanto, los Niveles de Servicio son clasificados como sigue :

**Nivel de Servicio A .-** No existen fases cargadas y solo unas cuantas fases se acercan a esta condición . Ninguna fase del semáforo es utilizada totalmente y no existen vehículos que esperen más de una indicación roja del semáforo

**Nivel de Servicio B.-** Operación vehicular estable con factor de carga menor o igual a 0.1 Raramente, se utiliza totalmente una fase del semáforo para un número importante de fases tienden a llegar a la utilización total .

**Nivel de Servicio C** - Operación estable. Las fases cargadas se hacen notables, con factores de carga entre 0,1 y 0,3. Ocasionalmente, se tendrá que esperar más de una indicación roja del semáforo. Es el nivel considerado para fines de proyecto.

**Nivel de Servicio D** - Se aproxima a la inestabilidad, siendo las restricciones de operación mayores. El factor de carga se aproxima a 0,7. Existirá períodos cortos en los que la demanda será mayor y por lo tanto, habrá usuarios que tendrán que esperar más de una indicación de luz roja. En otros períodos cortos se podrán disipar las colas formadas con anterioridad.

**Nivel de Servicio E** - Representa la capacidad y aunque teóricamente el factor de carga debería ser 1,0, raramente es alcanzado. El factor recomendado para su uso es de 0,85.

**Nivel de Servicio F** - Está representado por congestión total y la formación de colas después de la intersección o de la calle transversal -- puede restringir los diferentes movimientos. El factor de carga en este nivel no puede ser establecido.

La fórmula a emplear para análisis de intersecciones urbanas, es como sigue :

$$VS = (VA w_1 fc) (G/C) (PAM, FHMD) (UC) (VD) (VI) (T) (B)$$

en dónde :

VS = Volúmen de servicio en el acceso (tránsito mixto en vehículos por hora).

VAw<sub>1</sub>fc = Volúmen por hora de luz verde en el acceso, en función del ancho del acceso y del factor de carga FC.

G/C- Relación luz verde=ciclo.

(PAM, FHMD)- Factor de ajuste combinados, por población del área metropolitana (PAM) y factor de la hora de máxima demanda(FHMD).

UC=Factor de ajuste por la ubicación de la intersección, dentro de la ciudad.

VD=Factor de ajuste por porcentaje de vueltas derechas.

VI=Factor de ajuste por porcentaje de vueltas izquierdas.

T=Factor de ajuste por vehículos pesados (camiones y autobuses foráneos).

B=Factor de ajuste por autobuses urbanos.

Para la determinación del Nivel de Servicio, se despejará de la fórmula anterior el valor  $W_{Aw}$ ,  $f_c$  calculado este valor, y con el ancho del acceso considerado, se hará uso de la gráfica correspondiente según las condicionantes físicas y de operación para determinar el factor de carga FC y por ende, el Nivel de Servicio buscado.

En caso de que exista carril especial para vueltas con control de semáforo, se procederá como sigue:

1.- Con el ancho de acceso disponible para el movimiento de frente se determinará el volumen de servicio, considerando 0% de vueltas.

2.- Se considerará que un carril para vuelta tiene los siguientes volúmenes de servicio:

Nivel de Servicio	Vehículos por hora de luz verde ( Un Carril	Vehículos pesados (%)
A, B, C	800	5
D	1,000	5
E	1,200	5

Los valores escogidos de acuerdo al Nivel de Servicio considerado, deberá afectarse por la relación G/C y por porcentaje de vehículos pesados en caso de ser diferente de 5%

Cuando existan dos o más carriles especiales para vueltas, al primer carril se le asignarán los valores de la tabla anterior y a los demás el 80% del primer carril.

3.- En las condiciones anteriores, serán sumados los diferentes volúmenes de servicio para obtener el total.

Cuando existen carriles especiales para vueltas pero sin control especial de semáforo, se procederá como sigue:

1.- Se tomará el ancho de acceso disponible para movimiento de frente, considerando 0%.

2.- Si es carril para vueltas derechas, se usará un valor de  $600 \times G/C$  para cualquier nivel, suponiendo 5% de vehículos pesados, en caso de que las vueltas sean simultáneas con el cruce de peatones. Si no existen peatones, podrán usarse los valores de la tabla anterior, ajustándose por porcentaje de vehículos pesados en ambos casos.

3.- Si es carril para vueltas izquierdas se considerará para cualquier Nivel de Servicio un volumen de servicio igual a la diferencia entre 1200 vehículos y el volumen total del tránsito en sentido contrario, en términos de vehículos ligeros por horas de luz verde, pero no menos de dos vehículos por cada ciclo del semáforo. Se aplicará G/C y el ajuste por vehículos pesados.

4.- Súmense los volúmenes de servicio parciales para obtener el total.

Si no existen carriles especiales para vueltas pero existe control de semáforo, se procederá como sigue:

1.- Si existe tránsito en sentido contrario, se hará uso del análisis tradicional, considerando el ancho del acceso.

Si no existe tránsito en sentido contrario se aplicará el mismo criterio tradicional, considerando las vueltas izquierdas como vueltas en calles de un solo sentido, considerando en ambos casos la relación G/C correspondiente.

Para el análisis de intersecciones rurales, la fórmula a utilizar es la siguiente

$$v_s = (VA_w, f_c) (G/C) (VD) (VI) (T)$$

Los factores que intervienen en esta fórmula son similares a aquellos de intersecciones urbanas. Además, deberá hacerse uso de la figura que se muestra, la cual está realizada considerando.

- FHMD = 0.70
- Vueltas derechas = 10%
- Vueltas a la izquierda = 10%
- Vehículos pesados = 5%

Por lo que, para condiciones distintas a las expuestas deberá ser afectado el análisis por los factores correspondientes.

7.- En arterias urbanas y suburbanas.

Para motivos de análisis, éstas se consideran como avenidas localizadas fuera de la zona comercial del centro de la ciudad, las cuales se caracterizan por la existencia de intersecciones controladas con semáforo a una distancia promedio de 1500 metros menos, o porque las velocidades y límites son de 60Km/h. o menores, como consecuencia del desarrollo urbano adyacente.

La capacidad de estas arterias como ya fué mencionado con anterioridad dependen fundamentalmente de la capacidad de las intersecciones a nivel a lo largo de la misma. Es por esto, que para el análisis de las arterias deberán realizarse los análisis de capacidad de las diferentes intersecciones que componen la arteria; después, deberá ser analizada la arteria en toda su longitud, para determinar un valor promedio de la relación volumen-capacidad (v/c).

También es necesario, para la determinación de los niveles de servicio el que sea conocido la velocidad global en la arteria, la cual dependerá fundamentalmente, de los límites de la velocidad, número de intersecciones y conflictos que se presentan entre dos intersecciones consecutivas. Con la velocidad y la relación  $v/c$  puede hacerse uso de una gráfica análoga a la usada para carreteras. En dicha gráfica, aparecen diferentes curvas con condiciones de operación diferentes. La curva I representa condiciones de circulación continua en arterias suburbanas sin control de semáforos, en la que el límite máximo de la velocidad es de 60Km/h. o en arterias urbanas controladas con se máforo, en las que existe una progresión razonablemente buena con los semáforos.

La curva II representa condiciones de circulación discontinua .

Los semáforos están espaciados normalmente en distancias de 800 metros o menos, sin que exista interconexión entre ellos. La velocidad bajo condiciones de circulación continua, está representada por la velocidad que se alcanza a la mitad de la cuadra, limitada muchas veces por la velocidad límite (40 Km/h. en la figura).

La curva III representa una progresión perfecta con grupos de vehículos circulando a la velocidad de la progresión, la cual en el ejemplo es de 50 Km/h.

Las capacidades en condiciones de circulación continua, las cuales raramente se pre sentan, son similares a las obtenidas para camino abierto. Para condiciones de circu lación discontinua, la capacidad generalmente está gobernada por los sistemas de con trol.

Para que un eje pueda alojar un máximo número de vehículos con condiciones adecuadas de operación se requiere fundamentalmente una progresión perfecta de semáforos con las condicionantes siguientes:

- a).- Pocos movimientos de vuelta
- b).- Que pueda sostenerse la demanda por ciclo
- c).- Que no existan conflictos a mitad de la cuadra.

Para efectos de comparación, deberán analizarse condiciones tales como demanda y composición del tránsito, superficie de rodamiento, estacionamiento, señalamiento, movimientos de vuelta y condiciones ambientales.

En términos generales puede ser dicho que la operación en calles de un sentido es más eficiente que en calles de dos sentidos. Otras condiciones que afectan la circulación del tránsito son entre otras: Intersecciones sin control de semáforos, entradas y salidas a mitad de la cuadra, movimientos de vuelta, estacionamiento, señales y marcas en el pavimento, restricción en las distancias libres laterales, interferencia peatonal, maniobras de autobuses, etc.

**Determinación de la capacidad y Niveles de Servicio.**

**Capacidad.-** Los pasos a seguir comprenden:

- 1.- Visión general de conjunto que permita conocer los posibles elementos de control de la capacidad, tales como intersecciones con semáforos, cambios geométricos en tramos específicos, interferencias a mitad de la cuadra, y cualquier elemento que se considere deba ser tratado separadamente para el cálculo de capacidad.
- 2.- Obtención de la capacidad en cada uno de los elementos escogidos como control de la capacidad del tramo.
- 3.- Determinación de la capacidad menor de todos los elementos, ya que será la que gobernará la capacidad en todo el tramo, con excepción de aquella obtenida por congestiónamiento.
- 4.- Intentar incrementar la capacidad de los puntos de congestiónamiento al valor número de la capacidad escogida como control del tramo. Si no es posible, la capacidad de esos puntos serán los que gobernarán la capacidad.

**Niveles de Servicio.-** Los pasos a seguir comprenden en orden descendente los números 1, 2 y 3 anteriores y además:



a).- Determinación de si el volumen de demanda general excede el valor mínimo de la capacidad escogido como control. Si la capacidad no es excedida, háganse verificaciones adicionales para determinar si algunos de los puntos de restricción anormales separados para su análisis individual, suministran capacidades por abajo del volumen de demanda

b).- Si no existen limitaciones en la capacidad divídase el volumen de demanda entre la capacidad establecida como control para obtener v/c promedio para el tramo.

c).- Con la relación v/c promedio obtenida y la velocidad global del tramo, utilícese la gráfica que se muestra y obténgase el Nivel de Servicio.

Si existen restricciones específicas que no limitan la capacidad, estas serán tratadas individualmente para conocer el Nivel de Servicio correspondiente. Este Nivel de Servicio deberá ser analizado con el del tramo en general, para determinar si deberán ser efectuadas modificaciones que permitan un Nivel de Servicio similar en todo el tramo. Estas modificaciones deberán realizarse en caso de que la restricción esté ubicada a distancias tales que presenten interferencias con el resto del tramo, pero antes, un análisis más detallado con imposición de condiciones tales como prohibir vueltas, deberá ser realizado con el fin de mejorar el nivel de servicio de todo el tramo.

8.- En las calles de la zona comercial del centro de la ciudad.

Para la determinación de la capacidad y de los Niveles de Servicio no ha sido establecido aún procedimiento alguno, por lo que se recomienda se haga un análisis de intersección por intersección para conocer el comportamiento de ellas dentro del tramo vial analizado. Conocidos los tiempos de recorrido y por lo tanto la velocidad global de la arteria, es posible conocer el Nivel de Servicio a la que está trabajando, con el uso de la tabla que se muestra. En dicha tabla los Niveles de Servicio están establecidos de acuerdo a los diferentes grados de aceptación del conductor, a diferentes grados de operación.

0 - En intersecciones sin control del semáforo.

El procedimiento a seguir para el cálculo de capacidad y los Niveles de Servicio son similares a aquellos empleados en intersecciones semaforizadas, pero para poder hacer uso de ellos es necesario suponer la intersección como si estuviera controlada con semáforos

Para lo anterior, es necesario en primer lugar suponer una longitud de ciclo. A continuación deberán ser determinadas el número de fases de que deberá constar el ciclo.

Una vez realizado lo anterior deberán ser obtenidos los tiempos de verde para cada fase del semáforo. Para tal efecto se hace uso de la siguiente fórmula:

$$G_1 = \frac{V_1}{V_1 + W_1} \times \frac{W_2}{W_1 + W_2} \times G_2$$

en donde

$G_1, G_2$  = tiempos de verde para cada fase del semáforo (en caso de semáforo de 2 fases).

$V_1, V_2$  = Volúmenes críticos en los accesos de cada fase.

$W_1, W_2$  = Anchura de los accesos con volúmenes  $V_1$  y  $V_2$  respectivamente.

Una vez obtenido  $G_1$  y  $G_2$  el cual es supuesto y mayor a 15 segundos, será obtenida la relación  $G/C$  correspondiente. En estas condiciones el tratamiento posterior es similar al explicado para intersecciones con semáforo.

En caso de que el número de fases sea mayor de 2, deberá hacerse uso de las fórmulas siguientes:

$$S = 524.8 w (VI) (T)$$

$$y = \frac{q}{S}$$

$$G = \frac{y}{\sum y} (C - L)$$

en donde:

$S$  = flujo de saturación

$Y$  = relación entre el volumen del acceso analizado y el flujo de saturación correspondiente

$C$  = Longitud de ciclo del semáforo

$L$  = Tiempo perdido por el total de las fases (generalmente 2 o 3 segundos por cada fase).

Obtenidos los verdes de cada uno de los accesos, se procede al cálculo de  $G/C$  y a continuación al análisis como si fuera una intersección controlada con semáforos.

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		VOLUMEN DE SERVICIO-CAPACIDAD (v/c) <sup>a</sup>					VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES INCLUYENDO VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h (TOTAL DE VEHICULOS LIGEROS POR HORA EN UN SENTIDO)															
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION (km/h)	VALOR LIMITE PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h			VALOR APROXIMADO PARA CUALQUIER NUMERO DE CARRILES con velocidad de proyecto por debajo de		4 CARRILES dos para cada sentido				6 CARRILES tres para cada sentido				8 CARRILES cuatro para cada sentido				PARA CADA CARRIL ACCION A CONTINUO CARRILES EN UNA DIRECCION			
			1 CARRILES dos para cada sentido	2 CARRILES tres para cada sentido	3 CARRILES cuatro para cada sentido	95 km/h	80 km/h																
A	FLUJO LIBRE	≥ 95	≥ 0.35	≥ 0.40	≥ 0.45	—	—	1400				2400				3400				1000			
B	FLUJO ESTABLE Vel. Superior del proyecto	≥ 90	≥ 0.50	≥ 0.58	≥ 0.63	≥ 0.75	—	2000				3500				5000				1500			
FACTOR DE LA HORA DE MAXIMA DEMANDA (FHMD) <sup>d</sup>								0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>e</sup>	0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>e</sup>	0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>e</sup>	0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>e</sup>
C	FLUJO ESTABLE	≥ 85	≥ 0.75 x FHMD	≥ 0.80 x FHMD	≥ 0.85 x FHMD	≥ 0.95 x FHMD	—	2300	2500	2750	3000	3700	4000	4350	4800	5100	5500	6000	6600	1400	1500	1650	1800
D	FLUJO PROXIMO AL INESTABLE	≥ 65	≥ 0.90 x FHMD			≥ 0.80 x FHMD	≥ 0.75 x FHMD	2800	3000	3300	3600	4150	4500	4900	5400	5800	6000	6600	7200	1400	1500	1650	1800
E <sup>f</sup>	FLUJO INESTABLE	50-55 <sup>g</sup>	≤ 1.00					4000 <sup>h</sup>				6000 <sup>h</sup>				8000 <sup>h</sup>				2000 <sup>h</sup>			
F	FLUJO FORZADO	< 50	NO SIGNIFICATIVO					MUY VARIABLE (desde cero hasta la capacidad)															

- a) - La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio; ambas medidas deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel de servicio.
- b) - La velocidad de operación requerida para este nivel no se alcanza sólo a bajos volúmenes.
- c) - El factor de hora de máxima demanda para autopistas es la ratio de entre el volumen de una hora completa y el valor más alto del flujo que ocurre durante un intervalo de 5 minutos dentro de la hora de máxima demanda.
- d) - Un factor de hora de máxima demanda de uno raramente se alcanza; los valores en la tabla deben considerarse como los valores máximos del flujo medio que probablemente se obtengan durante el intervalo de máxima demanda de 5 minutos dentro de la hora de máxima demanda.
- e) - Aproximadamente.
- f) - Capacidad.

TABLA 6-C. NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

Distancia desde la orilla del carril al obstáculo (en m)	Factor de ajuste, W, por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales							
	Obstáculos a un lado de un sentido de circulación				Obstáculos a ambos lados de un sentido de circulación			
	Carriles en metros				Carriles en metros			
	3 65	3 35	3 05	2 75	3 65	3 35	3 05	2 75
Carretera dividida de 4 carriles								
1 80	1 00	0 97	0 91	0 81	1 00	0 97	0 91	0 81
1 20	0 99	0 96	0 90	0 80	0 98	0 95	0 89	0 79
0 60	0 97	0 94	0 88	0 79	0 94	0 91	0 86	0 76
0 00	0 90	0 87	0 82	0 73	0 81	0 79	0 74	0 66
Carretera dividida de 6 y 8 carriles								
1 80	1 00	0 96	0 89	0 78	1 00	0 96	0 89	0 78
1 20	0 99	0 95	0 88	0 77	0 98	0 94	0 87	0 77
0 60	0 97	0 93	0 87	0 76	0 96	0 92	0 85	0 75
0 00	0 94	0 91	0 85	0 74	0 91	0 87	0 81	0 70

**TABLA 6-D EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS CON CIRCULACION CONTINUA**

NIVEL DE SERVICIO		EQUIVALENTE, PARA		
		TERRENO PLANO	TERRENO EN LOMERIO	TERRENO MONTANOSO
A		Muy variable, a este nivel uno ó más camiones tienen prácticamente la misma influencia sobre el volumen de servicio. Para el análisis, úsense las equivalencias indicadas para los niveles B hasta E.		
B hasta E	Et Para camiones	2	4	8
	Eb Para autobuses*	1.6	3	5

\*-En la mayoría de los análisis no se consideran por separado, aplíquese únicamente cuando el volumen de autobuses sea importante

TABLA 4-E. VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION Y POR AUTOBUS PARA TRAMOS LARGOS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES

PENDIENTE (%)	LONGITUD DE LA PENDIENTE (KM)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS, E <sub>1</sub>									
		Niveles de servicio entre A y C para					Niveles de servicio D y E para				
		3% CAMIONES	5% CAMIONES	10% CAMIONES	15% CAMIONES	20% CAMIONES	3% CAMIONES	5% CAMIONES	10% CAMIONES	15% CAMIONES	20% CAMIONES
0-1	TODAS	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0.4-0.8	5	4	4	3	3	5	4	4	3	3
	1.2-1.6	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4
	2.4-3.2	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	4.8-6.4	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
3	0.4	10	8	5	4	3	10	8	5	4	3
	0.8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4
	1.2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5
	1.6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6
	2.4	10	9	7	7	7	10	8	7	7	7
	3.2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8
	4.8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6.4	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11	
4	0.4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	0.8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	1.2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	1.6	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
	2.4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	3.2	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
	4.8	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
6.4	12	13	15	15	14	13	14	16	16	15	
5	0.4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0.8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7
	1.2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8
	1.6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10
	2.4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13
	3.2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15
	4.8	13	15	16	16	15	14	17	17	17	17
6.4	15	17	19	19	17	16	19	22	21	19	
6	0.4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3
	0.8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8
	1.2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10
	1.6	14	13	12	12	11	15	14	13	13	11
	2.4	14	14	14	14	13	15	16	15	15	14
	3.2	14	15	16	16	15	15	18	18	18	16
	4.8	14	16	18	18	17	15	20	20	20	19
6.4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23	

4) TABLA 6-F EQUIVALENCIAS DE VEHICULOS LIGEROS POR-CAMION, PARA SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES

PENDIENTE (%)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS <sup>a</sup> E <sub>0</sub>	
	Niveles de servicio A, B y C	Niveles de servicio D y E
0-4 <sup>b</sup>	16	16
5 <sup>c</sup>	4	2
6 <sup>c</sup>	7	4
7 <sup>c</sup>	12	10

a - Para todos los porcentajes de autobuses

b - Todos las longitudes

c - Sólo cuando la longitud de las pendientes sea mayor de 800 m

**TABLA 4-9. VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR AUTOBUS EN SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES**



T.C. o L.V. o E.P. o E.T. o C.A. o B.		FACTOR DE AJUSTE POR CAMIONES T <sub>c</sub> ó T <sub>L</sub> (B <sub>c</sub> ó B <sub>L</sub> POR AUTOBUSES <sup>c</sup> )																						
		PORCENTAJE DE CAMIONES P <sub>c</sub> (% DE AUTOBUSES P <sub>B</sub> ) de																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70
2	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
7	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
9	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
15	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
16	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
17	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
18	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
19	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
25	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
40	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
45	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
50	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
55	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
60	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
65	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
70	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
75	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
80	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
85	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
90	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
100	0.9	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

- a - De las tablas 7 E y 7 F y 7 G
- b - Calculados con la fórmula  $100(T_c - P_c) + E_c P_c$  ó bien  $100(1/P_c - E_c P_c)$ . Aplíquese esta fórmula para otros porcentajes
- c - Cuando la proporción de autobuses sea importante, use una equivalencia para camiones y otra para autobuses obteniendo factores de ajuste independientes

TABLA 6-H FACTORES DE AJUSTE POR CAMIONES Y AUTOBUSES EN AUTOPISTAS, CARRETERAS DE CARRILES MÚLTIPLES Y CARRETERAS DE DOS CARRILES

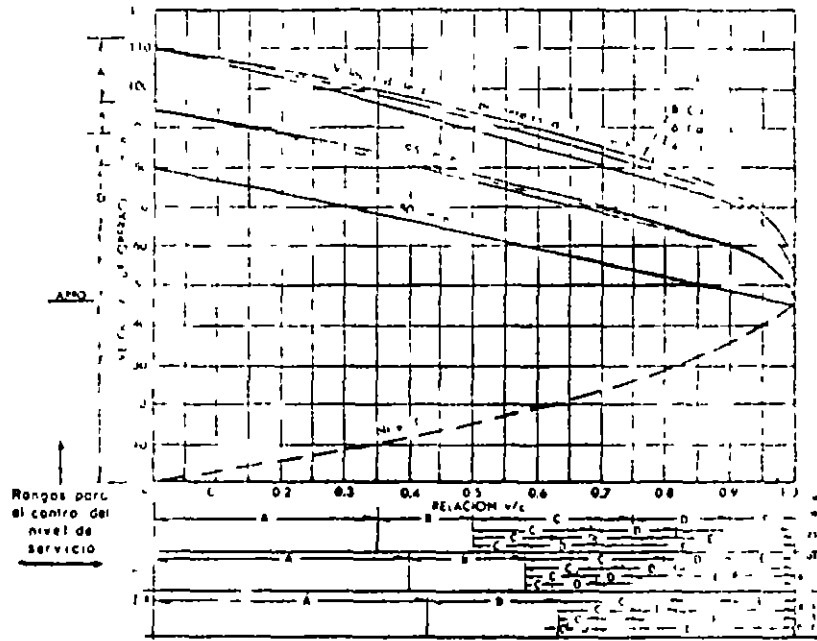


FIGURA 620 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, EN AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		VOLUMEN DE SERVICIO-CAPACIDAD (v/c)			VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES, FLUJO ESTABLE, VELOCIDAD DE PROYECTO FORNIDA DE 110 km/h (Total de vehiculos ligeros por hora, en un sentido)		
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION (km/h)	VALOR LIMITE PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h	VALOR APROXIMADO PARA UNA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE		CARRILERA DE 4 CARRILES (2 CARRILES POR SENTIDO)	CARRILERA DE 6 CARRILES (3 CARRILES POR SENTIDO)	CADA CARRIL ADICIONAL
				95 km/h	80 km/h			
A	FLUJO LIBRE	≥ 95	≥ 0.30	— b	— b	1200	1800	600
B	FLUJO ESTABLE (Velocidad superior del rango)	≥ 90	≥ 0.50	≥ 0.20	— b	2000	3000	1000
C	FLUJO ESTABLE	≥ 70	≥ 0.75	≥ 0.50	≥ 0.25	3000	4500	1500
D	APROXIMANDOS AL FLUJO INESTABLE	≥ 55	≥ 0.90	≥ 0.85	≥ 0.70	3600	5400	1800
E <sup>c</sup>	FLUJO INESTABLE	50 <sup>d</sup>	≥ 1.00			4000	6000	2000
F	FLUJO FORZADO	< 50 <sup>d</sup>	NO SIGNIFICATIVO <sup>e</sup>			MUY VARIABLE (Desde cero hasta la capacidad)		

a - La velocidad de operacion y la relacion v/c son medidas independientes del nivel de servicio, ambos limites deben satisfacerse en cualquier terminacion del nivel

b - La velocidad de operacion requerida para este nivel no se alcanza aun a bajos volúmenes

c - Capacidad

d - Aproximadamente

e - La relacion volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga

TABLA 61 NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTACULO (m)	FACTOR DE AJUSTE <sup>a</sup> W POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES							
	Obstáculos en el lado derecho (Considerando que circula tráfico en sentido contrario del lado izquierdo)				Obstáculos a ambos lados de un sentido de circulación <sup>b</sup>			
	CARRILES EN METROS				CARRILES EN METROS			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
(4)	Carretera no dividida de 4 carriles							
1.80	1.00	0.95	0.89	0.77	NA	NA	NA	NA
1.20	0.98	0.94	0.88	0.76	NA	NA	NA	NA
0.60	0.95	0.92	0.86	0.75	0.94	0.91	0.86	NA
0.00	0.88	0.85	0.80	0.70	0.81	0.79	0.74	0.66
	Carretera no dividida de 6 y 8 carriles							
1.80	1.00	0.95	0.89	0.77	NA	NA	NA	NA
1.20	0.99	0.94	0.88	0.76	NA	NA	NA	NA
0.60	0.97	0.93	0.86	0.75	0.96	0.92	0.85	NA
0.0	0.94	0.90	0.83	0.72	0.94	0.87	0.81	0.70

- a- Usar los valores de ajuste para la capacidad y volumen de servicio
- b- Cuando es apropiado sólo cuando el camino no dividido es separado temporalmente en dirección por obstáculos tales como barreras centrales, elementos estructurales de pasos a desnivel, etc., cercanos de lo que estaría el tránsito opuesto
- c- N/A = no aplicable, úsese el ajuste para obstáculos en el lado derecho

**TABLA 6-J EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE CARRILES MÚLTIPLES CON CIRCULACION CONTINUA**

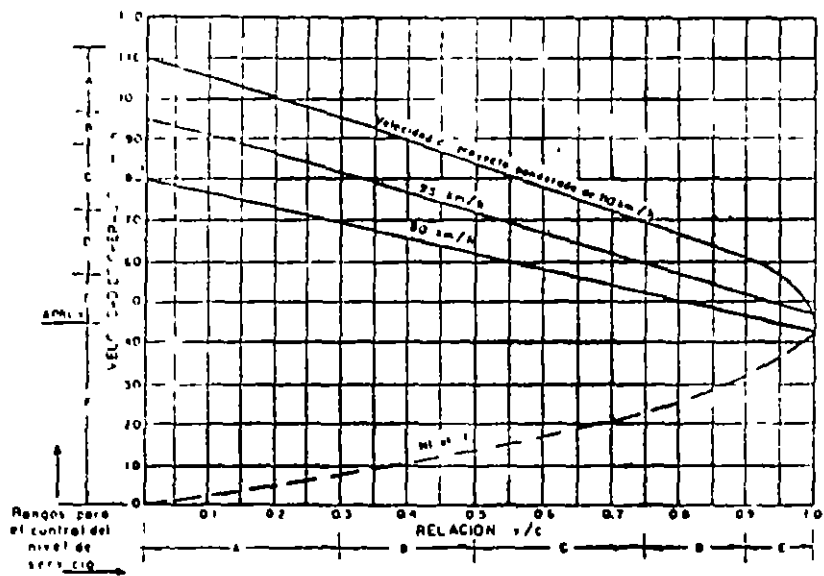


FIGURA 6.21 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, EN CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE > 500mts (%)	VOLUMEN DE SERVICIO (CAPACIDAD)					VALOR POND. DE SERVICIO	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION (Km/h)		VALOR POND. DE VELOCIDAD DEL PROYECTO	VALOR POND. DE VELOCIDAD DE PROYECTO					
					95	80	70	55		55
				Km/h	Km/h	Km/h	Km/h	Km/h		
A	FLUJO LIBRE	VI 95	∞	∞	∞	∞	∞	∞	400	
			100	0.20	∞	∞	∞	∞		
			80	0.18	∞	∞	∞	∞		
			60	0.15	∞	∞	∞	∞		
			40	0.12	∞	∞	∞	∞		
			0	0.04	∞	∞	∞	∞		
B	FLUJO ESTABLE (Velocidad superior del rango)	VI 80	∞	∞	∞	∞	∞	900		
			100	0.47	0.40	∞	∞		∞	
			80	0.47	0.35	∞	∞		∞	
			60	0.38	0.30	∞	∞		∞	
			40	0.34	0.24	∞	∞		∞	
			0	0.24	0.12	∞	∞		∞	
C	FLUJO ESTABLE	C	∞	∞	∞	∞	∞	1400		
			100	0.70	0.66	0.56	0.51		∞	
			80	0.68	0.61	0.53	0.46		∞	
			60	0.63	0.56	0.47	0.41		∞	
			40	0.57	0.51	0.38	0.32		∞	
			0	0.38	0.38	0.18	0.12		∞	
D	FLUJO PROXIMO AL INESTABLE	VI 55	∞	∞	∞	∞	∞	1700		
			100	0.83	0.83	0.75	0.67		0.58	
			80	0.84	0.81	0.72	0.62		0.55	
			60	0.83	0.79	0.69	0.57		0.51	
			40	0.82	0.76	0.66	0.52		0.45	
			0	0.80	0.66	0.51	0.30		0.19	
E <sup>c</sup>	FLUJO INESTABLE	50 <sup>d</sup>	NO ES APLICABLE <sup>e</sup>	≥ 1.00					2000 <sup>f</sup>	
F	FLUJO FORZADO	< 50 <sup>d</sup>	NO ES APLICABLE <sup>e</sup>	NO SIGNIFICATIVO <sup>f</sup>					MUY V. R. B. E Desde 100 hasta 1000	

- a - La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.  
 b - Cuando el espacio está en blanco, la velocidad de operación requerida para este nivel es inalcanzable aún a velocidades bajas.  
 c - Capacidades.  
 d - Aproximadamente.  
 e - No hay rebase.  
 f - La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga.

**TABLA 6-K. NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES BAJO CONDICIONES DE FLUJO CONTINUO**

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTACULO (m)	FACTORES DE AJUSTE <sup>a</sup> $w_L$ Y $w_C$ POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES															
	OBSTACULO EN UN SOLO LADO <sup>b</sup>								OBSTACULO EN AMBOS LADOS <sup>b</sup>							
	CARRILES EN METROS															
	3 65		3 35		3 05		2 75		3 65		3 35		3 05		2 75	
	NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL	
	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>
1 80	1 00	1 00	0 86	0 83	0 77	0 81	0 70	0 76	1 00	1 00	0 86	0 88	0 77	0 81	0 70	0 76
1 20	0 96	0 97	0 83	0 83	0 74	0 79	0 68	0 74	0 92	0 94	0 79	0 83	0 71	0 76	0 65	0 71
0 60	0 91	0 93	0 78	0 81	0 70	0 75	0 64	0 70	0 81	0 85	0 70	0 75	0 63	0 69	0 57	0 65
0 00	0 85	0 88	0 73	0 77	0 63	0 71	0 60	0 66	0 70	0 76	0 60	0 67	0 54	0 62	0 49	0 58

a - Factores de ajuste,  $w_C$  para el nivel "E" (Capacidad) y  $w_L$  para nivel "B"; Interpolar para otros niveles

b - Incluye el efecto del tránsito en sentido contrario

c - Capacidad

TABLA 6-1 EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

EQUIVALENTE	NIVEL DE SERVICIO	EQUIVALENCIA POR		
		TERRENO PLANO	TERRENO EN LOMES	TERRENO ONDULOSO
E <sub>T</sub> PARA CAMIONES	A	3	4	7
	B y C	2.5	5	10
	D y E	2	5	12
E <sub>B</sub> PARA AUTOBUSES <sup>o</sup>	Todos los Niveles	2	4	6

G - hacer consideraciones por separado no es requisito en la mayoría de los problemas, aunque únicamente cuando el volumen de autobuses sea significativo

TABLA 6-M VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION Y POR AUTOBUS EN TRAMOS LARGOS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES

PENDIENTE <sup>o</sup> (%)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS, <sup>o</sup> E <sub>B</sub>		
	Niveles de servicio A y B	Nivel de servicio C	Niveles de servicio D y E (capacidad)
0-4	2	2	2
5 <sup>b</sup>	4	3	2
6 <sup>c</sup>	7	6	4
7 <sup>c</sup>	12	12	10

a - Todas las longitudes

b - Para todos los porcentajes de autobuses

c - Solo cuando la longitud de las pendientes, sea mayor de 800 m

TABLA 6-O VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR AUTOBUS EN SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES



VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION PARA SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES									
CARRIL	VEHICULO	2		3		4		5	
		1	2	1	2	1	2	1	2
2	0.400		2			2	2		
	0.600								4
	0.800							10	7
	1.000							11	8
	1.200							11	8
	1.400							11	8
3	0.400	4	2	2	5	4	2		
	0.600	4	2	2	6	5	2	11	8
	0.800	4	2	2	7	6	2	14	13
	1.000	5	3	2	8	7	3	17	15
	1.200	5	3	2	9	8	4	20	18
	1.400	5	3	2	10	9	5	24	24
4	0.400	4	2	2	7	6	2		
	0.600	6	2	2	10	10	2	11	6
	0.800	7	2	2	12	12	10	17	13
	1.000	7	2	2	13	13	12	24	18
	1.200	8	3	3	14	14	14	27	21
	1.400	8	3	3	15	15	15	31	24
5	0.400	8	3	3	16	16	6	27	21
	0.600	8	3	3	17	17	7	31	24
	0.800	10	4	4	19	19	8	35	28
	1.000	11	4	4	20	20	9	40	31
	1.200	12	5	5	21	21	10	45	35
	1.400	13	5	5	22	22	11	50	39
6	0.400	14	5	5	23	23	11	55	43
	0.600	14	5	5	24	24	12	60	47
	0.800	15	6	6	25	25	13	65	51
	1.000	16	6	6	26	26	14	70	55
	1.200	17	7	7	27	27	15	75	59
	1.400	18	7	7	28	28	16	80	63
7	0.400	18	7	7	29	29	17	85	67
	0.600	18	7	7	30	30	18	90	71
	0.800	19	8	8	31	31	19	95	75
	1.000	20	8	8	32	32	20	100	79
	1.200	21	9	9	33	33	21	105	83
	1.400	22	9	9	34	34	22	110	87
8	0.400	22	9	9	35	35	23	115	91
	0.600	22	9	9	36	36	24	120	95
	0.800	23	10	10	37	37	25	125	99
	1.000	24	10	10	38	38	26	130	103
	1.200	25	11	11	39	39	27	135	107
	1.400	26	11	11	40	40	28	140	111

TABLA 6-N VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION PARA SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES

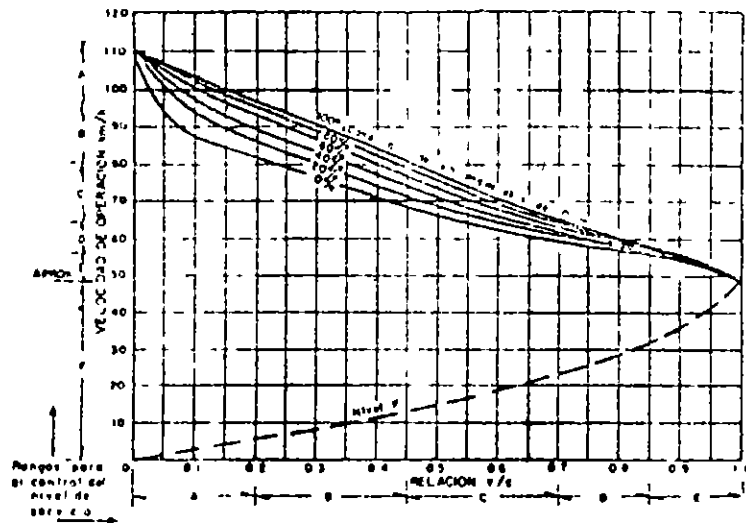


FIGURA 6.22 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

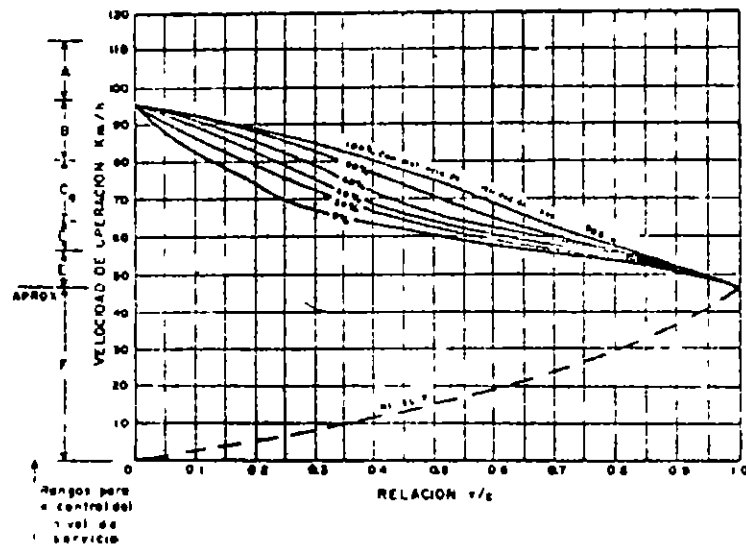


FIGURA 6.23 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 95 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

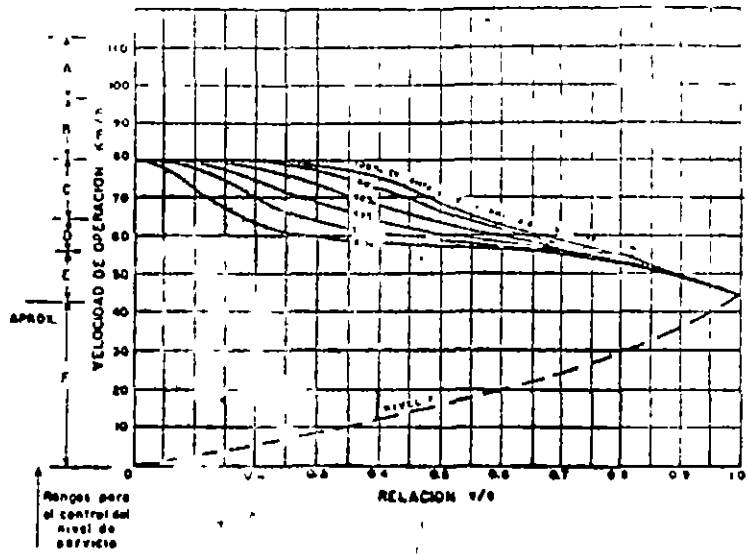


FIGURA 6.24 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 80 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

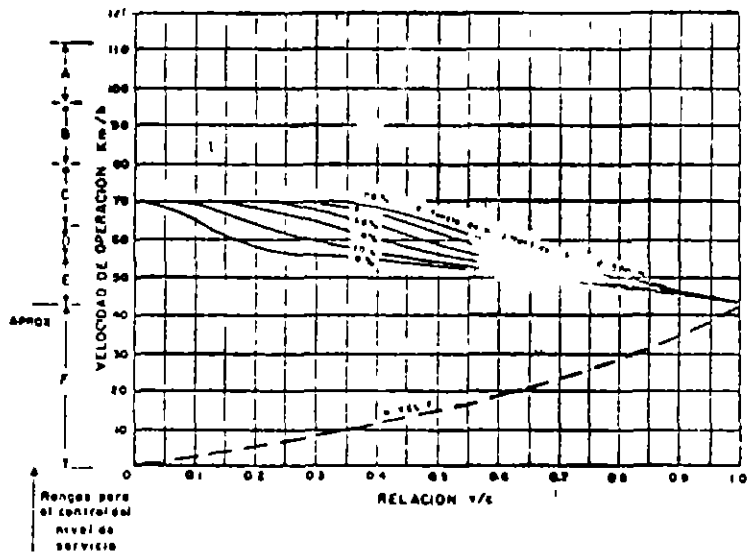


FIGURA 6.25 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 70 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

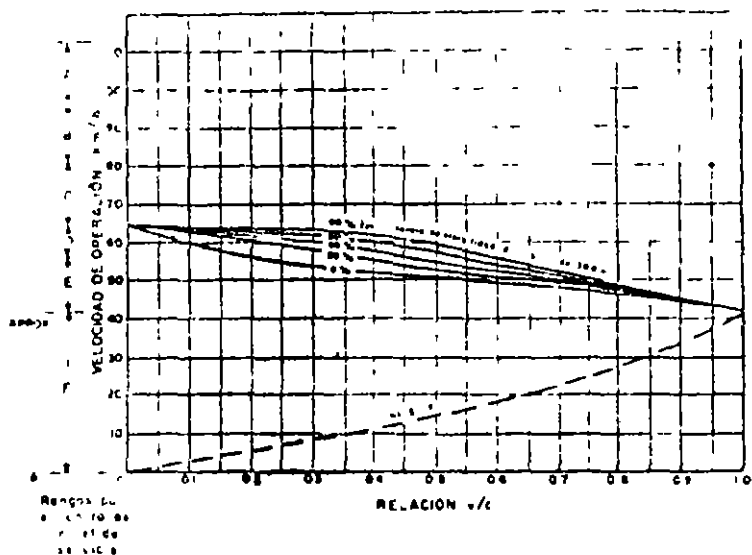


FIGURA 6.26 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 65 KM/H BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

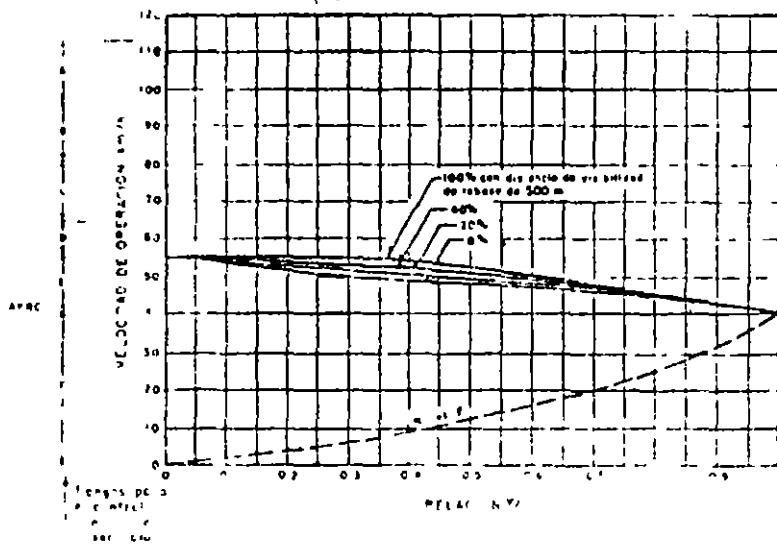


FIGURA 6.27 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 55 KM/H BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

NIVEL DE SERVICIO	VOLUMEN DE SERVICIO EN LA AUTOPISTA EN UNA DIRECCION (v <sub>h</sub> )			VOLUMEN DE SERVICIO EN EL PUNTO DE VERIFICACION (v <sub>p</sub> )		
	4 CARRILES 2 para cada sentido	6 CARRILES 3 para cada sentido	8 CARRILES 4 para cada sentido	CONVERGENCIA <sup>b</sup>	DIVERGENCIA <sup>c</sup>	ENTRECruzAMIENTO <sup>d</sup>
A	1400	2100	3400	1000	1100	800
B	2000	3500	5000	1200	1300	1000
FACTOR DE LA HOJA DE DEMANDA	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00	0.77 0.83 0.91 1.00
C	2300 2500 2750 3000	3700 4000 43 7 4800	5100 5500 6000 6600	1300 1400 1550 1700	1400 1500 1650 1800	1100 1200 1350 1450
D	2800 3000 3300 3600	4150 4500 4900 5300	5600 6000 6600 7200	1400 1500 1650 1800	1500 1600 1750 1900	1400 1500 1650 1800
E <sup>e</sup>	≤ 4000	≤ 6000	≤ 8000	≤ 2000	≤ 2000	≤ 2000
F	< - - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -

a - Para usarse en verificaciones del volumen de servicio en la autopista entre enlaces sucesivos

b - Representa el volumen de servicio constituido por la suma del volumen calculado para el carril numero 1 mas el volumen en el enlace de acceso

c - Representa el volumen de servicio en el carril numero 1 inmediatamente antes de un enlace de salida incluye vehiculos de paso y vehiculos con probabilidad de usar el enlace de salida

d - Representa el volumen de servicio en puntos espaciados a cada 150 m entre enlaces de entrada y salida

e - Capacidad

**TABLA 6.5 VOLUMENES DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN LOS EXTREMOS DE LOS ENLACES (TRANSITO MIXTO EN VEHICULOS POR HORA EN UNA DIRECCION, SUPONIENDO TERPENO A NIVEL Y UN PORCENTAJE DE CAMIONES NO MAYOR DEL 5%)**

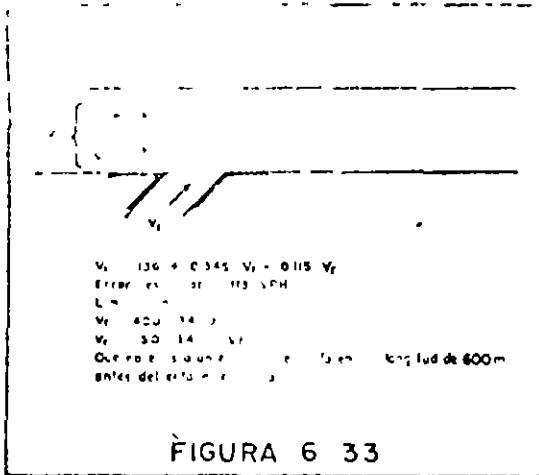


FIGURA 6 33

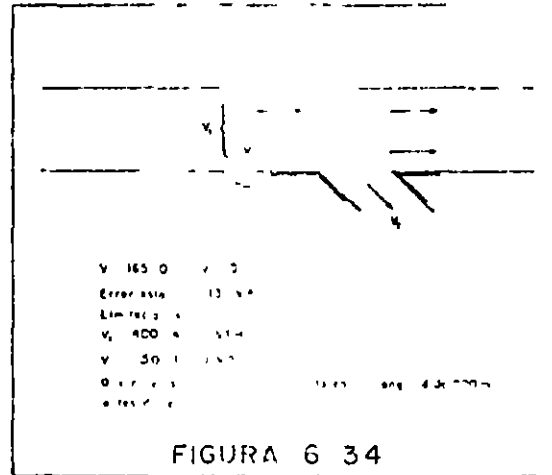


FIGURA 6 34

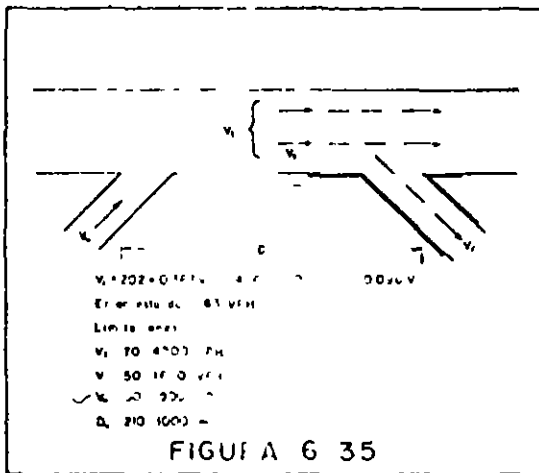


FIGURA 6 35

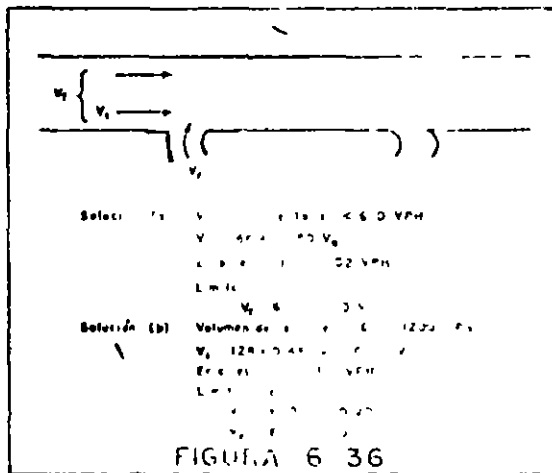


FIGURA 6 36

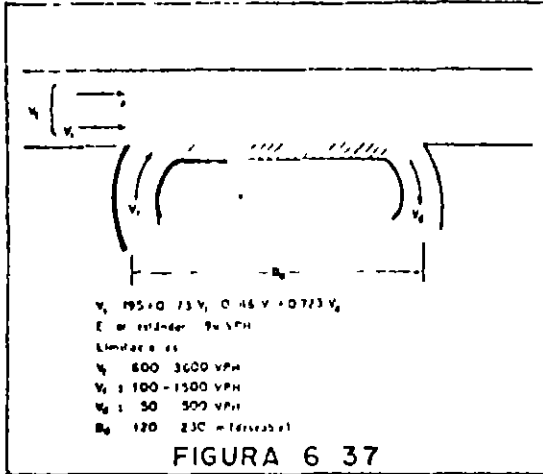


FIGURA 6 37

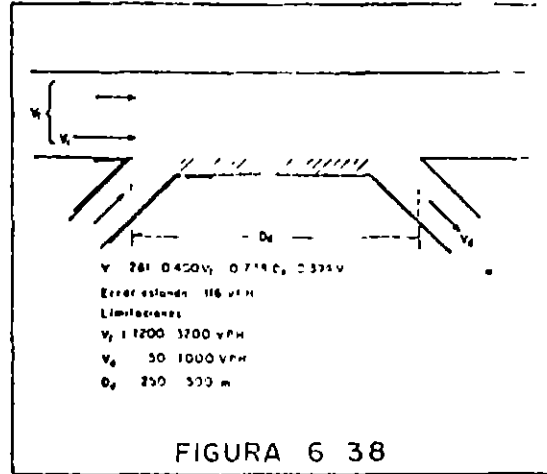


FIGURA 6 38

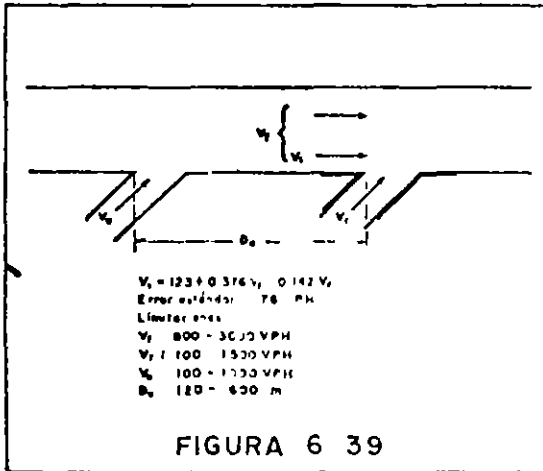


FIGURA 6 39

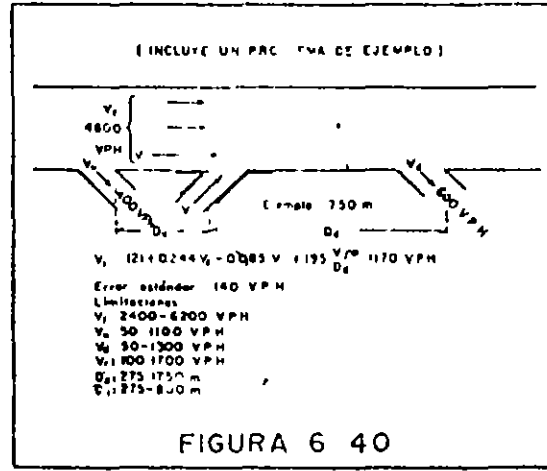


FIGURA 6 40

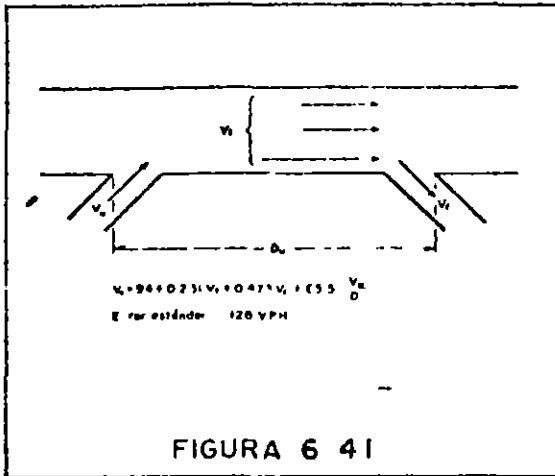


FIGURA 6 41

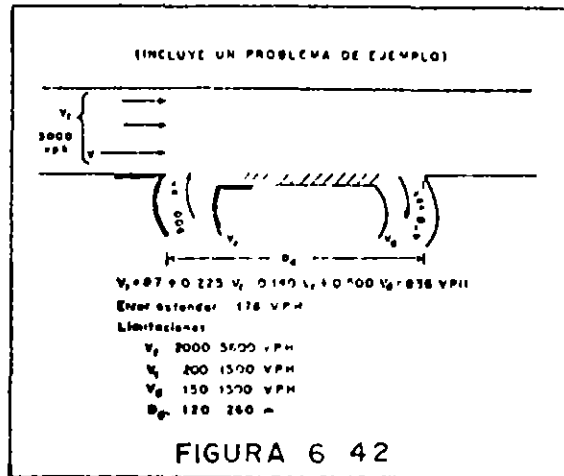


FIGURA 6 42

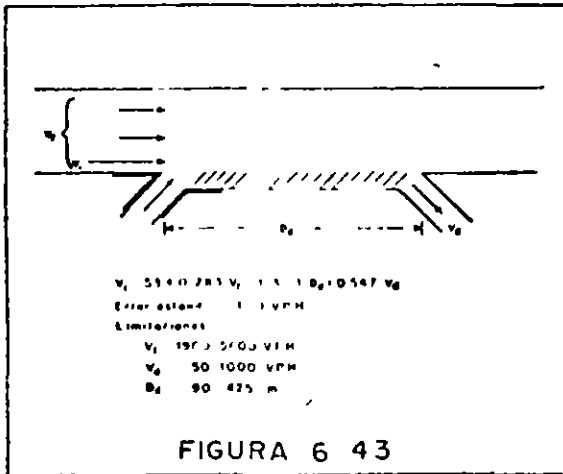


FIGURA 6 43

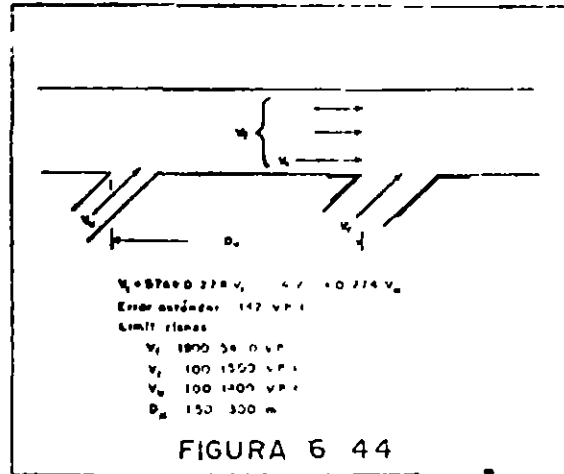
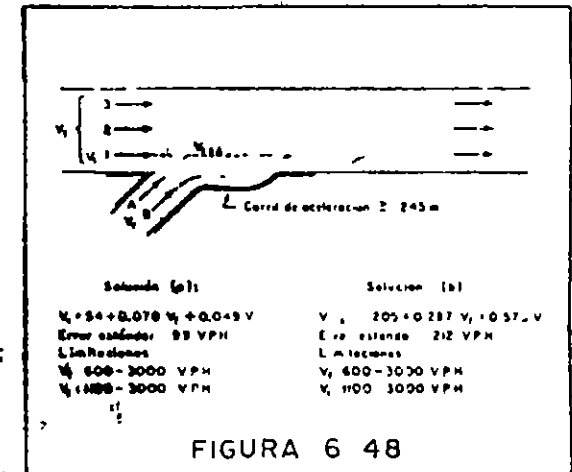
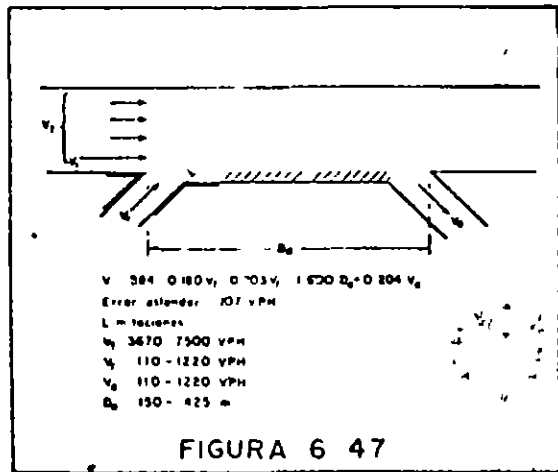
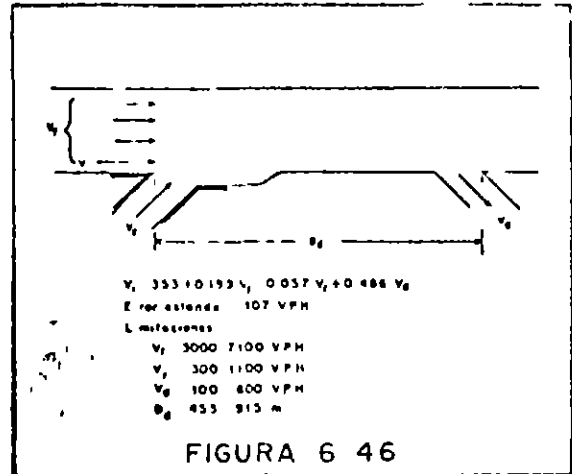
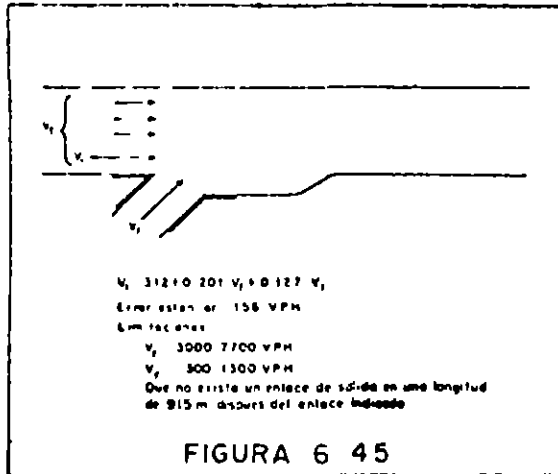


FIGURA 6 44





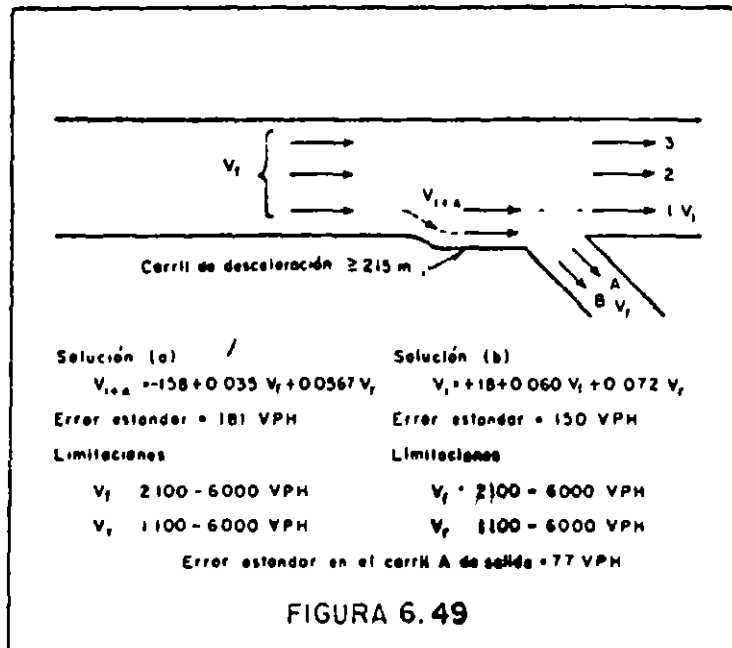


FIGURA 6.49

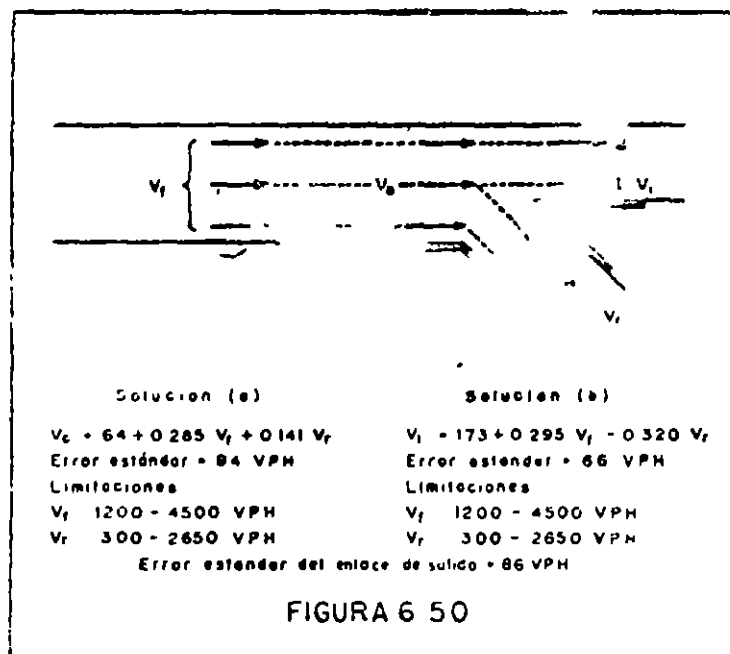


FIGURA 6.50

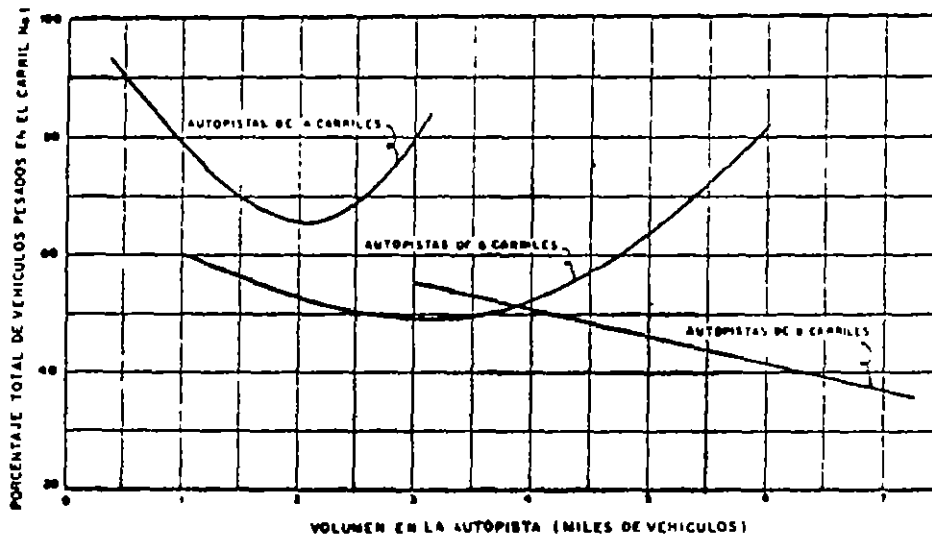


FIGURA 6.32 PORCENTAJE TOTAL DE VEHICULOS PESADOS EN EL CARRIL NUM 1 DE AUTOPISTAS DE 4, 6 Y 8 CARRILES INMEDIATAMENTE ANTES DE LOS ENLACES DE ENTRADA, O EN EL PUNTO DE DIVERGENCIA INMEDIATAMENTE ANTES DE LOS ENLACES DE SALIDA

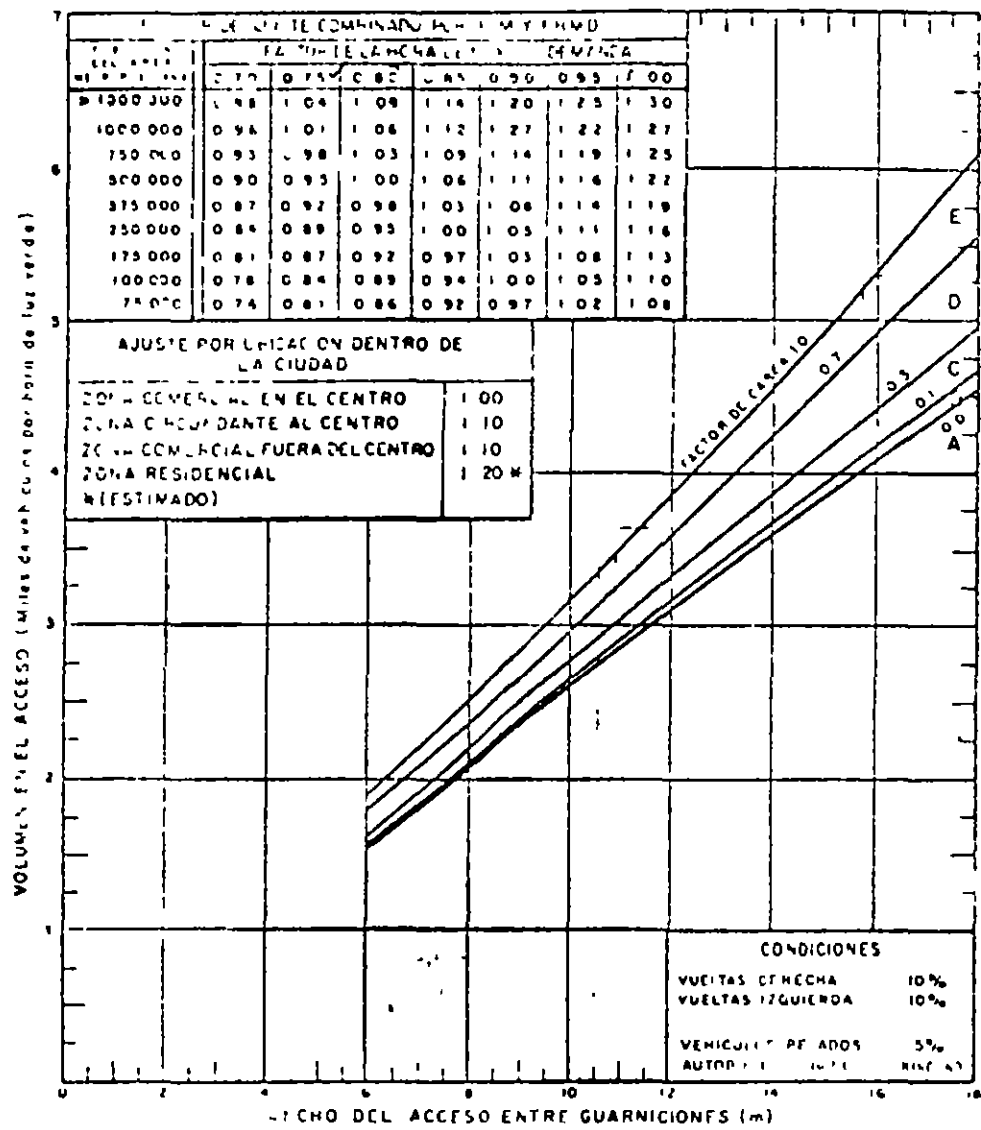


FIGURA 6.54 VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE PARA CALLES DE UN SENTIDO DE CIRCULACION SIN ESTACIONAMIENTO

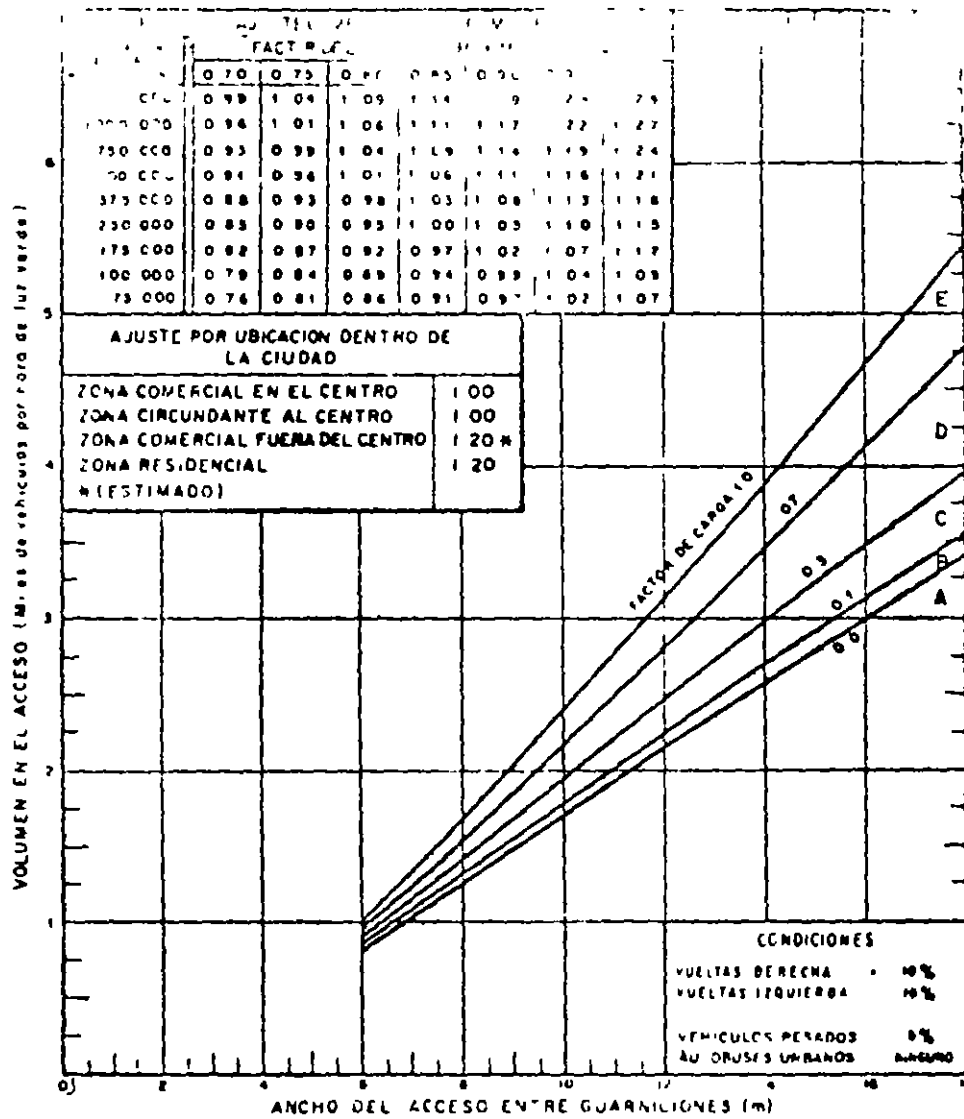
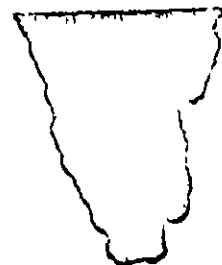
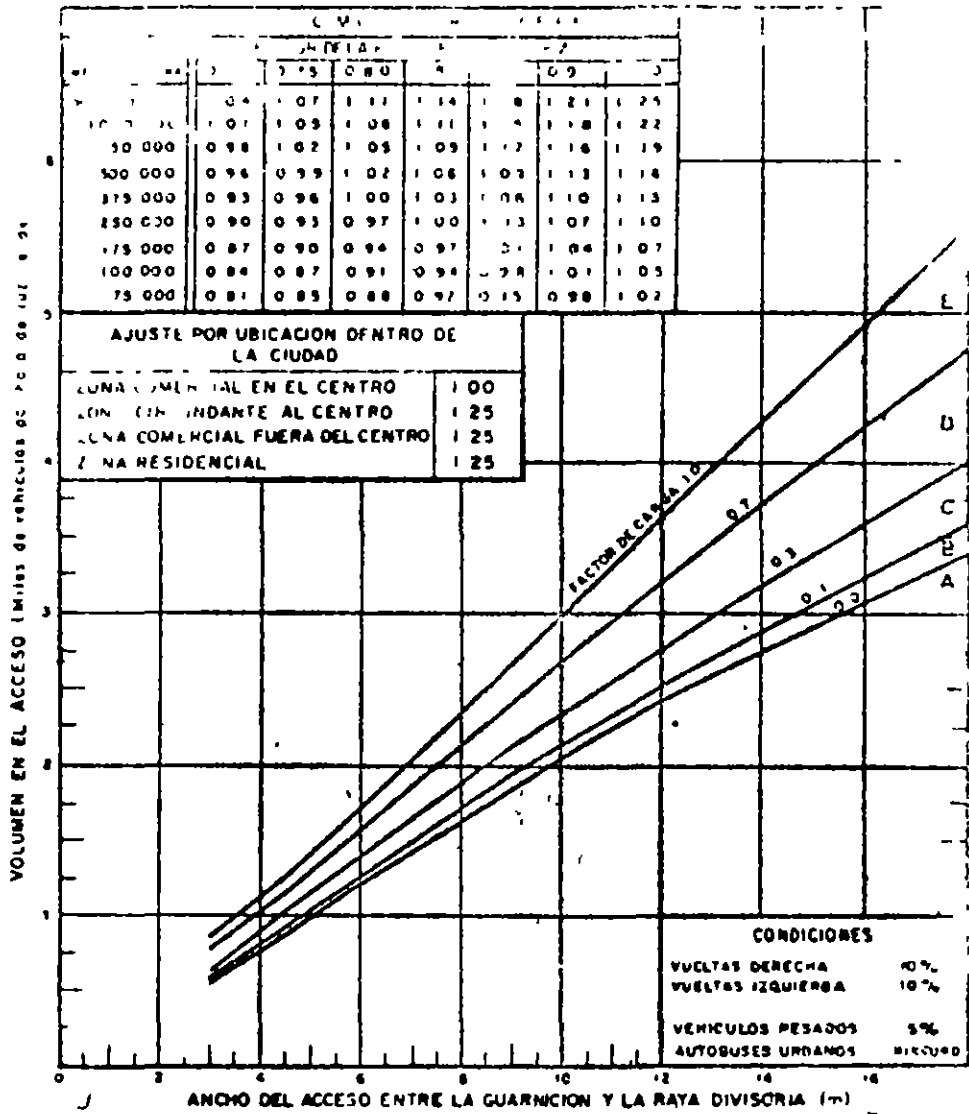


FIGURA 6.55 VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA, EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE UN SENTIDO DE CIRCULACION CON ESTACIONAMIENTO EN UN LADO





**FIGURA 6-57 VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE, PARA CALLES DE DOS SENTIDOS DE CIRCULACION SIN ESTACIONAMIENTO**

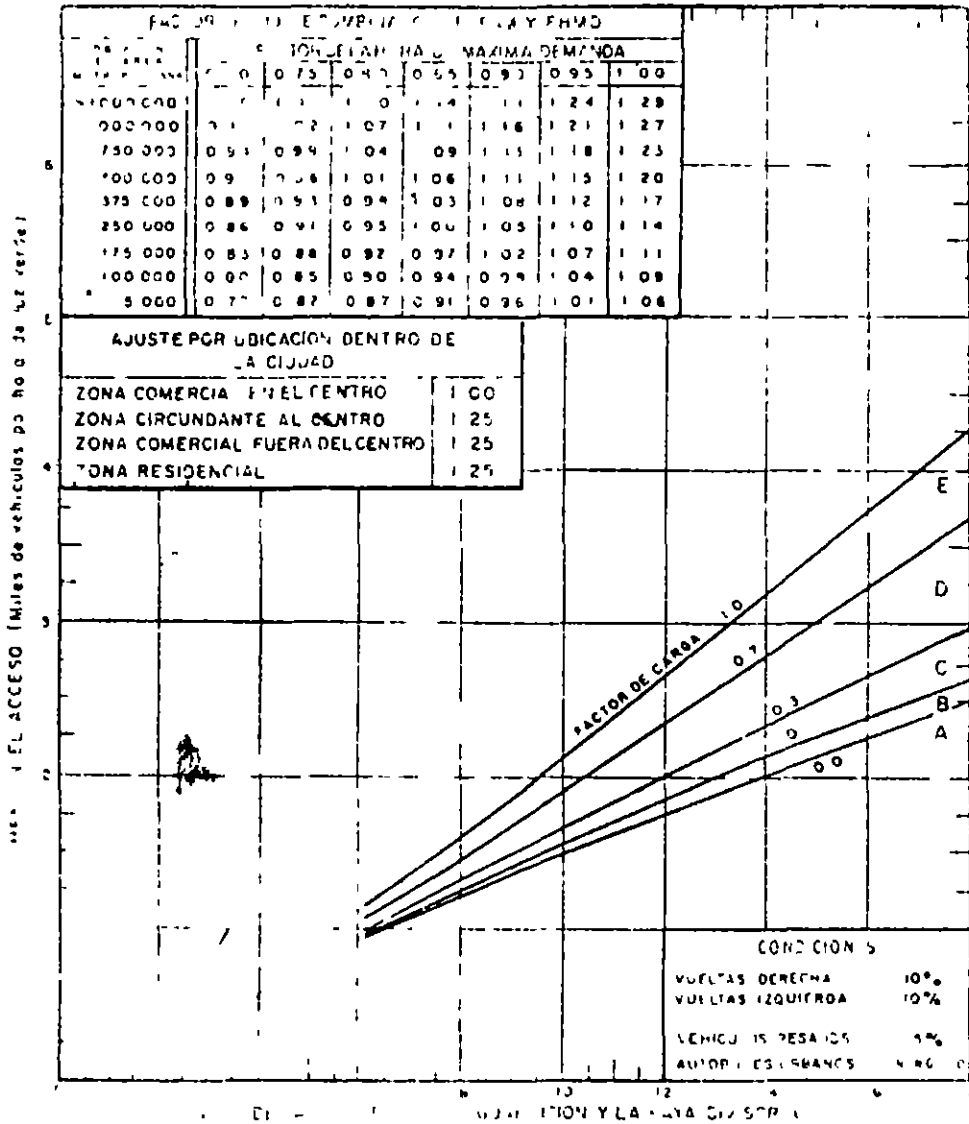


FIGURA 6-58 VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION URBANA EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE PARA CALLES DE DOS SENTIDOS DE DIRECCION CON ESTACIONAMIENTO

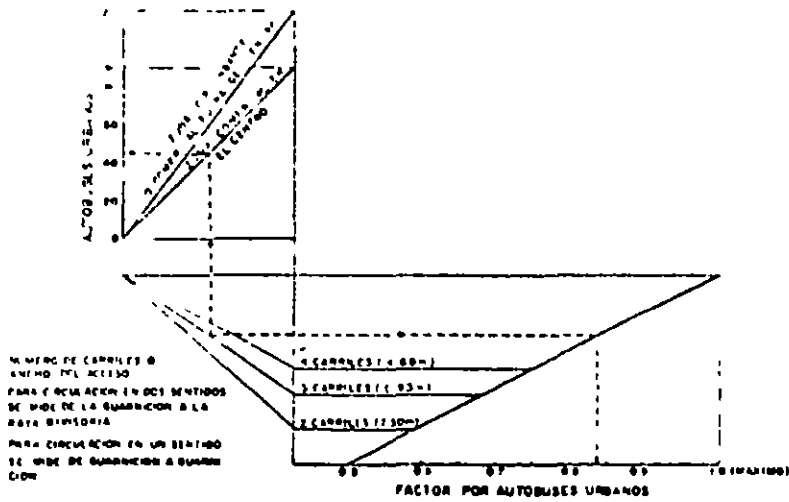


FIGURA 6 59 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA ANTES DE CRUZAR LA CALLE Y SIN ESTACIONAMIENTO

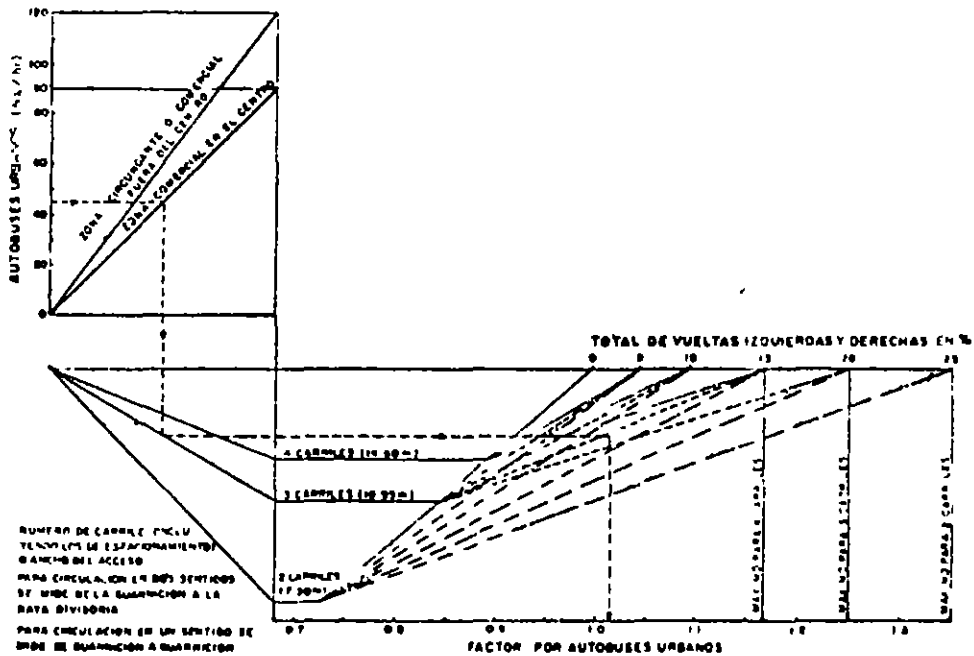


FIGURA 6 60 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA ANTES DE CRUZAR LA CALLE Y CON ESTACIONAMIENTO



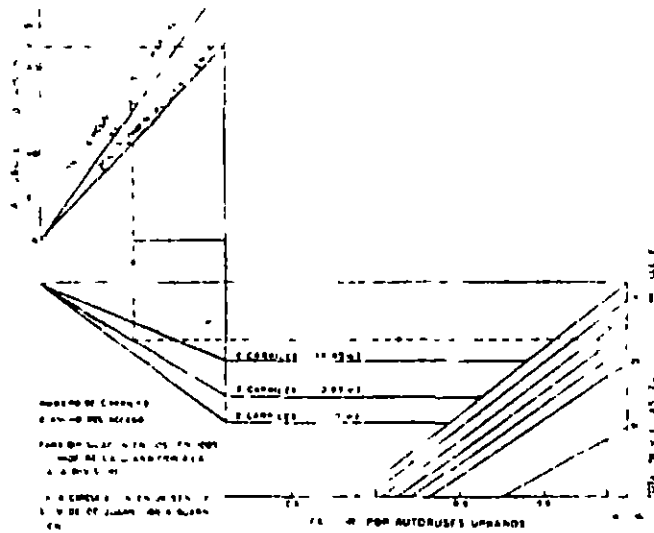


FIGURA 6.61 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA DESPUES DE CRUZAR LA CALLE Y SIN ESTACIONAMIENTO

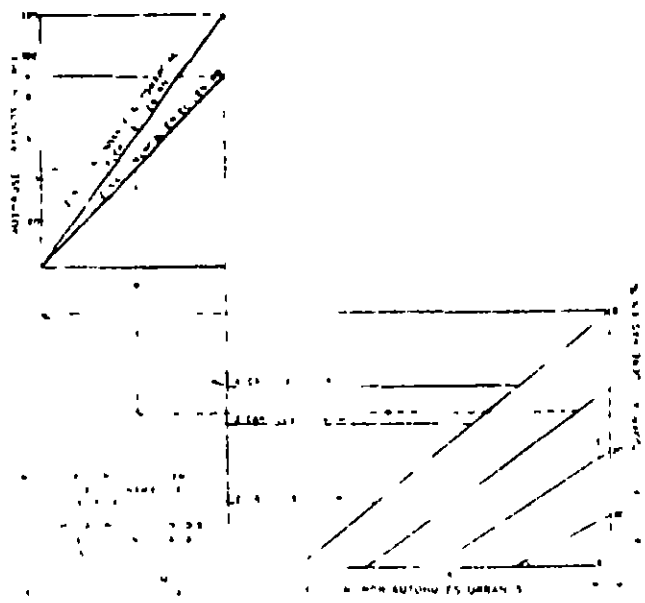


FIGURA 6.62 FACTORES DE AJUSTE POR AUTOBUSES URBANOS CON PARADA DESPUES DE CRUZAR LA CALLE Y CON ESTACIONAMIENTO

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN	FACTOR DE CARGA
A	Libre	0.0
B	Estable	0.1
C	Estable	0.3
D	Poco estable	0.7
E (capacidad)	Inestable	1.0
F	Forzada	No aplicable

TABLA 6 U NIVELES DE SERVICIO Y FACTORES DE CARGA PARA INTERSECCIONES A NIVEL AISLADAS CONTROLADAS CON SEMAFORO

FACTOR DE AJUSTE <sup>a</sup>						
VUELTAS <sup>b</sup> %	SIN ESTACIONAMIENTO <sup>c</sup> CON CARRILES SEPARADOS					
	ANCHO DEL ACCESO ≤ 100m	ANCHO DEL ACCESO 500 a 750m	ANCHO DEL ACCESO 800 a 1050m	ANCHO DEL ACCESO ≤ 600m	ANCHO DEL ACCESO 100 a 200m	ANCHO DEL ACCESO 950 a 100m
0	1.00	1.050	1.025	1.20	1.50	1.075
1	1.18	1.045	1.020	1.18	1.045	1.070
2	1.16	1.040	1.020	1.15	1.015	1.070
3	1.14	1.035	1.015	1.13	1.035	1.05
4	1.12	1.030	1.015	1.12	1.030	1.05
5	1.10	1.025	1.010	1.10	1.025	1.00
6	1.08	1.020	1.010	1.08	1.020	1.00
7	1.06	1.015	1.005	1.06	1.015	1.005
8	1.04	1.010	1.005	1.04	1.010	1.005
9	1.02	1.005	1.000	1.02	1.005	1.000
10	1.00	1.000	1.000	1.00	1.000	1.000
11	0.99	0.995	1.000	0.99	0.995	1.000
12	0.98	0.990	0.995	0.98	0.990	0.995
13	0.97	0.985	0.995	0.97	0.985	0.995
14	0.96	0.980	0.990	0.96	0.980	0.990
15	0.95	0.975	0.990	0.95	0.975	0.990
16	0.94	0.970	0.985	0.94	0.970	0.985
17	0.93	0.965	0.985	0.93	0.965	0.985
18	0.92	0.960	0.980	0.92	0.960	0.980
19	0.91	0.955	0.980	0.91	0.955	0.980
20	0.90	0.950	0.975	0.90	0.950	0.975
22	0.89	0.940	0.980	0.89	0.940	0.980
24	0.88	0.930	0.985	0.88	0.930	0.985
26	0.87	0.920	0.990	0.87	0.920	0.990
28	0.86	0.910	0.995	0.86	0.910	0.995
30 o más	0.85	0.900	1.000	0.85	0.900	1.000

- a) Sin carriles especiales para vueltas o indicaciones especiales del semáforo
- b) Considerense las vueltas a la derecha y a la izquierda separadamente. No se sumen
- c) No es necesario el ajuste para anchos del acceso mayores de 10.50 m
- d) No es necesario el ajuste para anchos del acceso mayores de 12.00 m

TABLA 6 V FACTORES DE AJUSTE POR VUELTAS A LA DERECHA EN CALLES DE DOS SENTIDOS, VUELTAS A LA DERECHA EN CALLES DE UN SENTIDO Y VUELTAS A LA IZQUIERDA EN CALLES DE UN SENTIDO

VUELTAS %	FACTOR DE AJUSTE <sup>a</sup>					
	SIN ESTACIONAMIENTO			CON ESTACIONAMIENTO		
	ANCHO DEL ACCESO ≤ 4.50m	ANCHO DEL ACCESO 5.00 a 10.50m	ANCHO DEL ACCESO ≥ 11.00m	ANCHO DEL ACCESO ≤ 6.00m	ANCHO DEL ACCESO 6.50 a 12.00m	ANCHO DEL ACCESO ≥ 12.50m
0	1.30	1.10	1.050	1.30	1.10	1.050
1	1.27	1.09	1.045	1.27	1.09	1.045
2	1.24	1.08	1.040	1.24	1.08	1.040
3	1.21	1.07	1.035	1.21	1.07	1.035
4	1.18	1.06	1.030	1.18	1.06	1.030
5	1.15	1.05	1.025	1.15	1.05	1.025
6	1.12	1.04	1.020	1.12	1.04	1.020
7	1.09	1.03	1.015	1.09	1.03	1.015
8	1.06	1.02	1.010	1.06	1.02	1.010
9	1.03	1.01	1.005	1.03	1.01	1.005
10	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000
11	0.98	0.99	0.995	0.98	0.99	0.995
12	0.96	0.98	0.990	0.96	0.98	0.990
13	0.94	0.97	0.985	0.94	0.97	0.985
14	0.92	0.96	0.980	0.92	0.96	0.980
15	0.90	0.95	0.975	0.90	0.95	0.975
16	0.89	0.94	0.970	0.89	0.94	0.970
17	0.88	0.93	0.965	0.88	0.93	0.965
18	0.87	0.92	0.960	0.87	0.92	0.960
19	0.86	0.91	0.955	0.86	0.91	0.955
20	0.85	0.90	0.950	0.85	0.90	0.950
22	0.84	0.89	0.940	0.84	0.89	0.940
24	0.83	0.88	0.930	0.83	0.88	0.930
26	0.82	0.87	0.920	0.82	0.87	0.920
28	0.81	0.86	0.910	0.81	0.86	0.910
30 o mas	0.80	0.85	0.900	0.80	0.85	0.900

a) Sin carriles especiales para vueltas o indicaciones especiales del semáforo

TABLA 6.11. FACTORES DE AJUSTE POR VUELTAS A LA IZQUIERDA EN CALLES DE DOS SENTIDOS

CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS %	FACTOR DE AJUSTE.	CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS %	FACTOR DE AJUSTE	CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS %	FACTOR DE AJUSTE
0	1.05	7	0.98	14	0.91
1	1.04	8	0.97	15	0.90
2	1.03	9	0.96	16	0.89
3	1.02	10	0.95	17	0.88
4	1.01	11	0.94	18	0.87
5	1.00	12	0.93	19	0.86
6	0.99	13	0.92	20	0.85

TABLA 6 X FACTORES DE AJUSTE POR CAMIONES Y AUTOBUSES FORANEOS

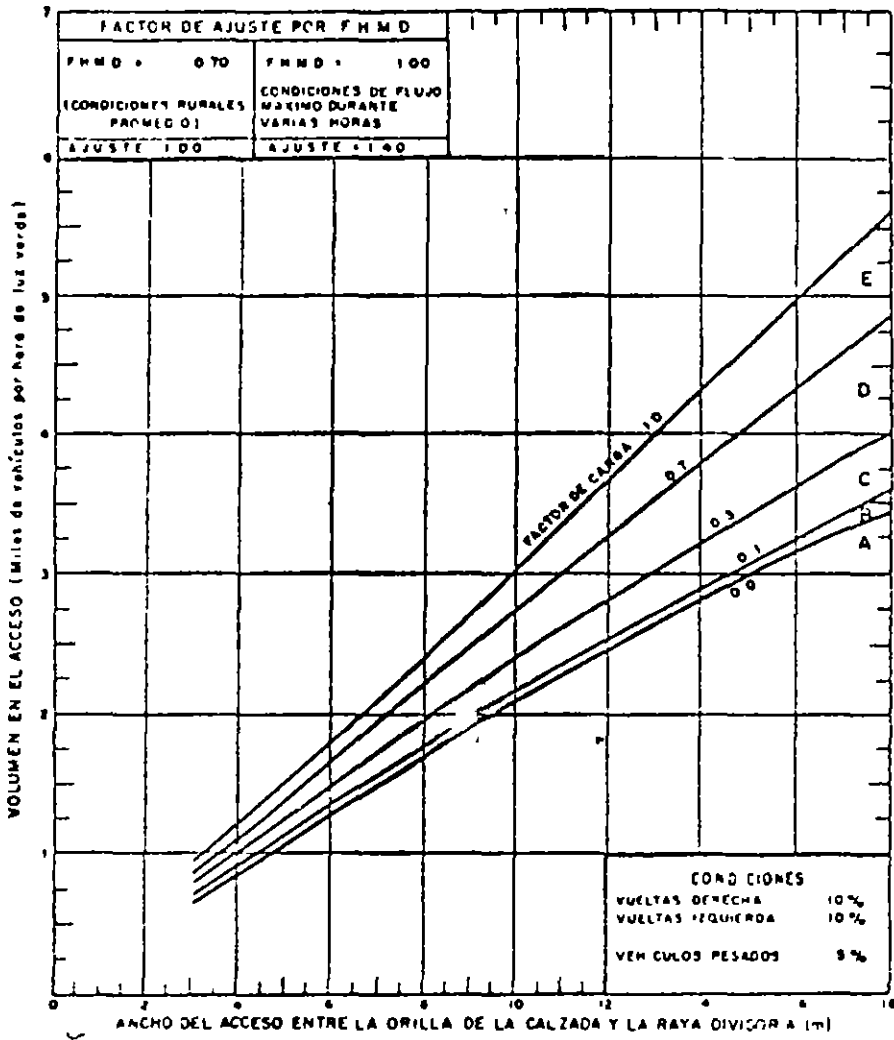


FIGURA 6.57 VOLUMEN DE SERVICIO PARA EL ACCESO A UNA INTERSECCION RURAL EN VEHICULOS POR HORA DE LUZ VERDE PARA CAMINOS DE DOS SENTIDOS DE CIRCULACION SIN ESTACIONAMIENTO

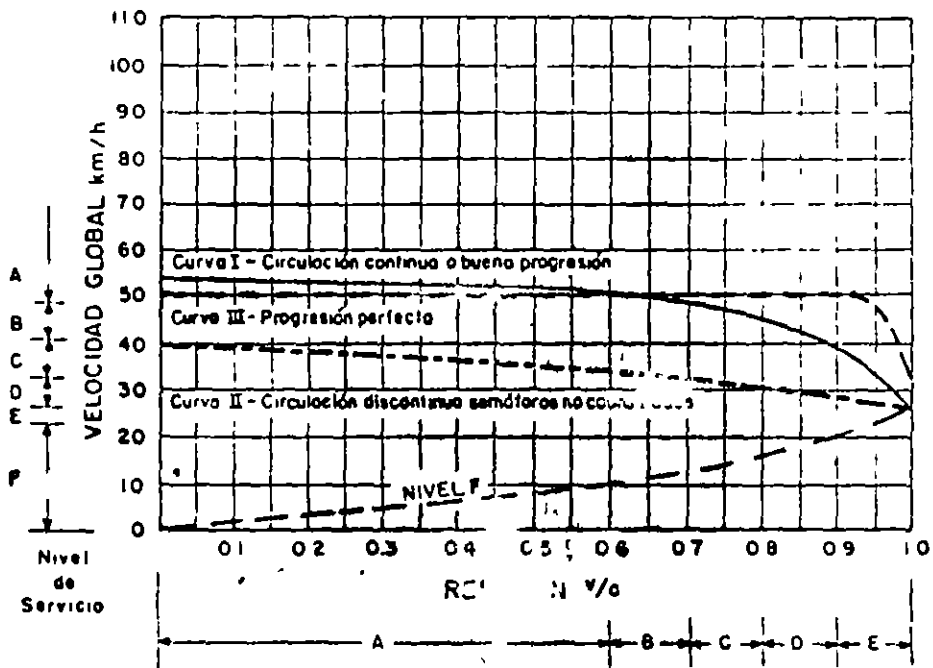


FIGURA 6.64 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD GLOBAL Y LA RELACION V/C EN ARTERIAS URBANAS Y SUBURBANAS

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO				VOLUMEN DE DEMANDA - CAPACIDAD (%)
	DESCRIPCION	VELOCIDAD GLOBAL <sup>a</sup> (km/hora)	FACTOR DE CARGA <sup>b</sup>	FACTOR DE LA HOJA DE MANEJO DE MANEJO <sup>c</sup>	
A	FLUJO LIBRE	550	0.0	20.70	110.00 (1000)
B	FLUJO ESTABLE	540	10.1	20.80	110.70 (1005)
C	FLUJO ESTABLE	530	20.5	20.85	110.70 (1005)
D	APROXIMANDOSE AL FLUJO INESTABLE	520	40.7	20.90	110.90 (1005)
E <sup>d</sup>	FLUJO INESTABLE	510	100 (10.85) <sup>e</sup>	20.95	111.00
F	FLUJO FORZADO	< 20	No Significativo	No Significativo	No Significativo <sup>g</sup>

- a - La velocidad global y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio y deben satisfacerse a través de cualquier determinación de niveles de servicio, con la excepción de consideración especial de que estas son relaciones razonables en su mayor parte. El factor de carga que es una medida de nivel de servicio en intersecciones, puede usarse como criterio de cumplimiento cuando sea necesario.
- b - Los valores entre paréntesis se refieren a una progresión casi perfecta.
- c - Un factor de carga de 100 no se encuentra con frecuencia, aun bajo condiciones de operación a la capacidad, debido a las fluctuaciones inherentes al flujo de tránsito.
- d - Capacidad.
- e - La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder 100, indicando sobrecarga.

TABLA 6 Y NIVELES DE SERVICIO PARA CALLES URBANAS Y SUBURBANAS



NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD GLOBAL (km/h)
A	Flujo libre	$\bar{v} \geq 40$
B	Flujo estable	$> 30$
C	Flujo estable	$\bar{v} \geq 25$
D	Aproximándose al flujo estable	$\bar{v} \geq 15$
E <sup>a</sup>	Flujo inestable	Menor que 15
F	Flujo forzado	Paradas frecuentes

a) El nivel E para la calle en su conjunto, no puede considerarse como capacidad, la capacidad está gobernada por la de las intersecciones críticas o por la de otras interrupciones.

TABLA 6 Z NIVELES DE SERVICIO PARA CALLES DEL CENTRO DE LA CIUDAD

## SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

### INTRODUCCION

Uno de los problemas más difíciles, si nó el mayor, es el de proveer un sistema de transporte adecuado que permita el movimiento de personas y cosas entre diferentes orígenes y destinos dentro de una ciudad. Todas las grandes urbes del mundo están conscientes de la necesidad que representa el poder contar con un sistema de transporte que satisfaga las demandas y deseos de sus habitantes.

Es por lo anterior que constantemente se están realizando investigaciones que permitan evaluar y reevaluar resultados obtenidos de experiencias en el pasado. Por lo tanto, a continuación se darán determinados lineamientos que son utilizados con el fin de proveer una red de transporte acorde a las necesidades de los habitantes de una población.

### ELEMENTOS BASICOS DEL TRANSITO URBANO

Los elementos básicos del tránsito urbano son presentados en la figura No 1. En la parte central se esquematiza el sistema de operación, compuesto por los autobuses, los conductores, los programas de operación y los pasajeros. Este sistema de operación es el resultado de tres componentes: Demanda, Oferta y Objetivos.

**DEMANDA.** - La demanda del transporte es un conjunto de pasajeros y la cual depende del costo del pasaje, intervalos entre autobuses o frecuencia, localización de las rutas, etc. En otras palabras, dados la localización de una ruta, costo del pasaje, población, etc. existirá entonces una estimación del número de pasajeros en el sistema de tránsito.

es una estimación en el sentido de que solamente un nivel de pasajeros puede ser observado de un total de posibles pasajeros, y que corresponderá de seguro a las condiciones existentes

La interrelación entre la demanda con los sistemas de operación para producir un número de características de servicio son mostradas en la fig. No. 1

Fig. No. 1 Elementos Básicos del Tránsito Urbano.

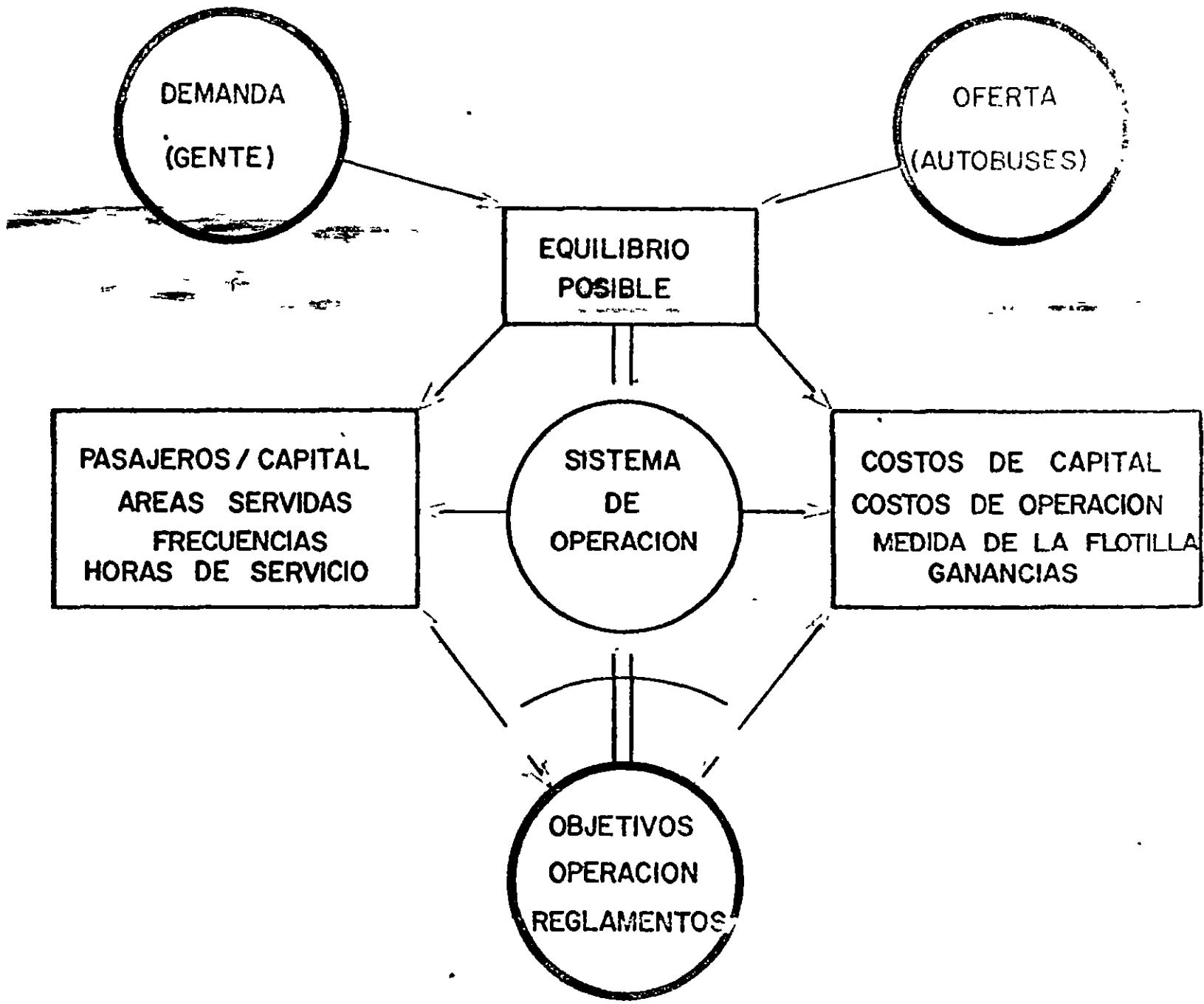


FIG 1.- ELEMENTOS BASICOS DEL TRANSITO URBANO

El número de pasajeros es una de las principales características, pero también son importantes las frecuencias, horario de servicio, áreas servidas y los tiempos de viaje del sistema. Todas estas características son una medida de la calidad del servicio proporcionado por el sistema.

**OFERTA.** - La oferta del transporte son básicamente la compañía del sistema de transporte, los autobuses, los conductores, etc. La relación entre la oferta y la demanda en el sistema producirá medidas de costo, entre ellos: menor costo, capital, incidencias de costo sobre el tiempo, medida de la flotilla, etc.

**OBJETIVOS.** - Los objetivos buscados por los sistemas de transporte son los de combinar y armonizar los pasajeros que deben ser servidos con los capitales disponibles para proveer el servicio. Dentro de las características que debe poseer el sistema de transporte se encuentran el servir toda el área de la comunidad, la frecuencia, velocidad y comodidad del servicio, y horas de servicio.

## DEMANDA

Se refiere a las características de mercado, en tanto que la oferta a las características de la industria. La planeación debe concebir un balance entre la oferta y la demanda para realizar determinados objetivos.

Toda planeación de transporte requiere de dos características de demanda. Variaciones en la demanda total y Variación diaria según el propósito del viaje.

## VARIACIONES EN LA DEMANDA TOTAL

Esta es una característica que debe ser considerada en la planeación del transporte, ya que en primer lugar permite determinar el nivel de servicio más apropiado para las difere-

En segundo lugar, penúltimo punto la aplicación de los sistemas de transporte para manejar las predicciones de demanda. En el primer caso, las variables de tiempo de día deben ser consideradas para el estudio. Los modelos de transporte

## VARIACION DIARIA DE LA DEMANDA POR PROPOSITO DE VIAJES

La variación de la demanda según el propósito del viaje sirve para indicar en términos generales las necesidades de diferentes grupos de usuarios. Por lo tanto, es necesario distinguir diferentes tipos de usuarios, ya que cada uno de ellos tendrá diferentes requerimientos por cuanto a uso de transporte se refiere. Así, empleados y estudiantes requieren el uso de sistemas de transporte durante períodos pico. Básicamente son -- cuatro los principales propósitos de viaje considerados para la planeación.

- 1.- Viajes Hogar- Trabajo
- 2 - Viajes Hogar- Escuela
- 3.- Viajes Hogar- Otros
- 4.- Otros no basados en el hogar como origen

Los tres primeros tipos de viaje tienen al hogar indistintamente como origen o como destino, siendo realizados por los moradores del hogar. Es conveniente que las variaciones en el número de viajes realizados sean computados por períodos de 15 minutos, durante un día promedio. De los diferentes tipos de viaje, el que mayor porcentaje representa del total es el No. 1. Así, en estudios realizados en Ontario, Canada mostraron que -- del total de viajes el No. 1 representa el 47% siguiéndole en importancia el No. 2 con 30% y el No. 3 con 20%. De lo anterior se desprende que la mayoría de estos viajes -- con propósito de trabajo o escolaridad serán realizados en horas de máxima demanda tanto en la mañana como en la tarde, aunque las características de demanda no sean las --

En estos dos tipos de viaje

dentro del grupo No. 3 es decir viajes del hogar a otros o viceversa, incluyen el trabajo, motivos de compra, motivos sociales o recreacionales y otros factores.

Los tipos de viajes generalmente ocurren fuera de la hora pico. Igual observación es hecha al cuarto tipo de viajes.

## PROCESO DE PLANEACION DEL TRANSPORTE

Los estudios de transporte urbano deben estar enfocados a la satisfacción futura de necesidades. Para poder cuantificarlos es necesario tomar en cuenta los siguientes factores

- 1.- Estimación de usos futuros, del suelo en la región en estudio en términos de ubicación e intensidad de uso.
- 2 - Estimación de demandas futuras de viaje causadas por las actividades del uso futuro del suelo
- 3.- Estimación de las áreas que deberán ser servidas.
- 4.- Descripción cuantitativa de las interrelaciones y retroalimentaciones de los tres factores.
  - a).- Uso de la tierra
  - b).- Provisión de servicios
  - c).- Demandas de viaje
- 5.- Proposición de alternativas
- 6.- Selección de aquella alternativa que teniendo la mejor solución técnica satisfaga mejor los objetivos.

## REQUERIMIENTOS PARA LA ESTIMACION DE DEMANDA FUTURAS DE VIAJES.

Esta estimación está basada en un conocimiento de las demandas de viaje actuales y en relaciones existentes entre los viajes y las actividades del uso presente del suelo. Estas relaciones son entonces aplicadas a usos futuros del suelo para determinar las demandas futuras del suelo.

Las relaciones anteriores son basadas en datos colectados por medio de encuestas directas realizadas en la región en estudio. Dentro de las preguntas realizadas en las encuestas se encuentran las siguientes:

- 1.- Donde son los viajes hechos?
- 2.- Por qué son hechos los viajes?
- 3.- Como son hechos los viajes?
- 4.- Quién hace los viajes?
- 5.- Cuándo son hechos los viajes?

Las preguntas anteriores permiten conocer orígenes y destinos de los viajes, el propósito de ellos, el tipo de transporte que es utilizado para realizarlos ya sea automóvil particular, taxi, autobus, etc. el tipo de persona que los realiza, datos socioeconómicos de los viajeros, etc.

## GENERACION DE VIAJES

Como se dijo anteriormente los viajes son clasificados por propósito de viaje. Esta clasificación permite conocer las variaciones de las intensidades de viaje. Además, permite relacionarlas con los usos del suelo para su cuantificación.



Entre los factores que deben ser tomados en cuenta para la determinación de la generación de viajes se encuentran

a) - ZONAS RESIDENCIALES

- 1 - Intensidad del uso del suelo establecido como población / km<sup>2</sup>
- 2 - Datos socio-económicos describiendo la población en la zona en estudio. Dentro de estos datos se pueden citar Ingreso promedio, automóviles particulares, etc.
- 3 - Ubicación de la zona respecto al centro de la ciudad.

b).- OTRAS ZONAS (NO USO RESIDENCIAL)

- 1.- Intensidad del uso del suelo expresado en datos tales como empleados/km.
- 2.- Tipo de empleos, de oficina, industrial, etc.

Frecuentemente las zonas en estudio contienen ambos usos del suelo. La técnica estadística más usada para estimar la generación de viajes es mediante el Análisis de regresión múltiple. La ecuación usada, la cual es de forma lineal es representada por la siguiente expresión:

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots$$

en donde:

Y= variable dependiente, que pudiera ser número de viajes con propósito de trabajo generados en la hora pico.

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, etc.= Variables independientes que pudieran representar por ejemplo: No. de empleados y profesionistas en cada zona, No. de empleados en fábricas, etc.

a, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, etc.= Parámetros estimados por la técnica de la regresión múltiple.

## MODO DE VÍAJE

El tipo de transporte utilizado para la realización de los viajes depende de los factores que a continuación se enumeran:

- 1 - Características del viajero
- 2 - Características del viaje realizado en automóvil utilizando el servicio público
- 3 - CARACTERÍSTICAS DEL VIAJERO

- a) - Ingresos
- b) - Número de personas por unidad habitacional
- c) - Propósito del viaje

## 2 - CARACTERÍSTICAS DEL VIAJE

- a) - Tiempo de viaje en el vehículo.
- b). - Tiempo de viaje fuera del vehículo tal como espera del mismo, tiempo invertido en caminar para abordar el autobús y tiempo invertido desde el estacionamiento a su destino final.
- c) - Costos de operación del vehículo, de estacionamiento, de pasaje, etc.
- d). - Consideraciones de comodidad y otras consideraciones cualitativas!

La determinación del modo de transporte utilizado para la realización de los viajes depende fundamentalmente de una teoría conocida como de Costo Generalizado. Este costo generalizado es el costo total de un viaje que involucra los costos por tiempo, - inconveniencias, frustraciones debidas al tránsito, accidentes, etc. Los elementos -- principales de este costo son.

- a) - Costos por pasaje, estacionamiento, gasolina, etc
- b) - Costos por tiempo de viaje en el vehículo.
- c) - Costos por tiempo invertido fuera del vehículo.
- d). - Confort, seguridad, conveniencia, etc.

Para los usuarios del transporte público, el único costo involucrado es el del pasaje.

Para los automóviles , el costo incluye entre otros.

- Costos de operación incluyendo depreciación del vehículo, seguro, etc.
- Costos anuales promedio de recorrido sin tomar en cuenta seguro, costo de mantenimiento de estacionamiento, etc.

Si una persona hace un viaje y tiene la posibilidad de escoger en determinados casos entre transportes, escogerá aquel medio que le represente el mínimo costo generalizado. La selección generalmente es entre un viaje por automóvil y su costo generalizado y un viaje por transporte público y su costo generalizado. Si el viajero no posee automóvil, entonces no existirá selección puesto que será un captivo del transporte público. Por el contrario, si no existe transporte público estará supeditado al uso de automóvil.

Puesto que un viajero escogerá el medio de transporte menos costoso, la diferencia del costo generalizado promedio entre un viaje por autobús y por automóvil es usado como una variable para la selección del tipo de transporte. Estudios realizados indican que el transporte público es menos costoso que el automóvil particular. Sin embargo, también ha sido determinado que no obstante lo anterior, existen viajeros que prefieren el último medio de transporte.

Para la predicción del Modal Split, se hace uso de uno cualquiera de una serie de modelos tanto matemáticos como empíricos. Dentro de todos ellos, cabe mencionar el Modelo matemático de Kain, que es uno de los más completos y hasta sobrepasa los límites del Modal Split, ya que se usa también para calcular la distribución de las personas según el tipo de vivienda en una determinada zona, el nivel de motorización, etc.

Las fórmulas a emplear en este modelo son las siguientes.

1.- Porcentaje de viviendas unifamiliares

$$R_1 = X_0 + X_1 F_j + X_2 Y_j + X_3 P_j + X_4 S_j + X_5 N_j$$

2 - Porcentaje de viviendas bifamiliares

$$R_2 = Y_0 + Y_1 F_j + Y_2 Y_j + Y_3 P_j + Y_4 S_j + Y_5 N_j$$

4.- Porcentaje de viviendas múltiples

$$Z_1 = Z_2 Y_i + Z_3 P_i + Z_4 S_i + Z_5 F_i$$

5.- Porcentaje de familias con tres viviendas

$$R_i = k_1 + R_i$$

5 - Proprietarios de vehículos

$$A_i = h_0 + h_1 R_i + h_2 Y_i + h_3 B_i + h_4 S_i + h_5 F_i$$

6 - Porcentaje de viajes al trabajo en transporte público

$$M_i = a_0 + a_1 A_i + a_2 R_i + a_3 B_i + a_4 Y_i + a_5 S_i + a_6 N_i$$

7 - Porcentaje de viajes al trabajo en automóvil

$$M_i = d_0 + d_1 A_i + d_2 R_i + d_3 B_i + d_4 Y_i + d_5 S_i + d_6 N_i$$

8.- Porcentaje de viajes al trabajo en otros medios de transporte

$$M_i = a - M_i - M_i$$

9.- Tiempo medio de viaje.

$$T_i = e_0 + e_1 R_i + e_2 S_i + e_3 Y_i + e_4 P_i + e_5 N_i + e_6 M_i$$

$Y_i$  = ingreso medio por familia, de las personas que trabajan en  $i$ .

$P_i$  = expresa el valor del suelo en  $i$ . (11.5-L millas 0.5)

$S_i$  = % personas del sexo masculino que trabajan en  $i$ .

$N_i$  = % personas que trabajan en  $i$  pertenecientes a familias con una persona activa

$B_i$  = Nivel de servicio del transporte público en  $i$ .

$NS$  = No. Veh.- Km. diarios/superficie de la zona.

$F_i$  = % de personas que trabajan en  $i$  pertenecientes a familias con más de dos miembros.

DISTRIBUCION DE LOS VIAJES.

Aún conociendo los destinos de los viajes generados queda la pregunta de como dis-

10. Los. Es decir existen muchos caminos en los cuales pueden distribuirse los  
 11. Tomando como ejemplo las matrices que se muestran en la fig. No. 2, se  
 12. los términos de los v<sub>ij</sub>es aunque son los mismos en número, la distribución es  
 13. completamente diferente.

$$\begin{array}{r}
 5 \ 2 \ 7 \\
 \hline
 3 \ 1 \ 4 \\
 \hline
 8 \ 3 \ 11
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 4 \ 3 \ 7 \\
 \hline
 4 \ 0 \ 4 \\
 \hline
 8 \ 3 \ 11
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 7 \ 0 \ 7 \\
 \hline
 1 \ 3 \ 4 \\
 \hline
 8 \ 3 \ 11
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 6 \ 1 \ 7 \\
 \hline
 2 \ 2 \ 4 \\
 \hline
 8 \ 3 \ 11
 \end{array}$$

Figura 2

El propósito de la distribución de los viajes es encontrar el camino más probable  
sobre la premisa en la que se apoya es que "la probabilidad" de un viaje de la  
zona  $i$  a la zona  $j$  es proporcional a la producción de la zona  $i$  y a la atracción de la zona  $j$  y decrece conforme el tiempo de viaje o costo de viaje se incrementa.  
La función  $F(t_{ij})$  es estimada mediante un método iterativo.

El modelo más comúnmente usado para este propósito es el "Gravitacional", en el que el tiempo de viaje es expresado matemáticamente como una función del viaje  $F(t_{ij})$ .

En este modelo, la distribución de los viajes es proporcional a

- a) - Producción de la zona  $i$   $P_i$
- b) - Atracción de la zona  $j$   $A_j$
- c) - Función del tiempo.  $F(t_{ij})$  donde  $F(t_{ij})$  decrece conforme  $t_{ij}$  se incrementa

$F(t_{ij})$  es estimado mediante un método iterativo.

$F(t_{ij})$  es asumido y así la distribución calculada.

La distribución resultante es comparada a la distribución basada en investigaciones realizadas y  $F(t_{ij})$  ajustado entonces hasta que un valor cercano es encontrado.

#### ASIGNACION DEL TRANSITO

Después que la estimación de la matriz de viaje, es completada todavía queda el determinar como será usado el sistema vial y el sistema de transporte.

La ruta que será probablemente más usada entre las diferentes zonas puede ser trazada en un mapa. El número de viajes que se realizan entre las zonas son entonces asignadas a las diferentes rutas trazadas. Repitiendo este proceso para cada combinación de zonas y adicionando rutas asignadas puede ser determinada la distribución de volúmenes de tránsito así como las rutas de los autobuses.

#### PREDICCIÓN DE VIAJES CON PROPOSITO ESCOLAR

Una de los principales viajes que influyen en la demanda total es el que tiene como --

la escuela. A causa de que este tipo de viajes tiende a tener duraciones más cortas que el tiempo en el que se realizan que los otros tipos de viajes, los viajes son realizados hacia escuelas que se encuentran más cercanas al centro comercial, es necesario considerar esta demanda como un subconjunto independiente de la demanda total. Para tal efecto, en el estudio del área de Kitchener-Waterloo fué empleado un modelo, el cual será esbozado en las siguientes líneas. Una característica de este tipo de viajes es la inelástica naturaleza de ellos. Los estudiantes deben viajar del hogar a la escuela y viceversa, todos los días. También, como características se encuentran el que cada niño dependiendo de la edad y religión, asiste a la escuela a la que asisten los niños vecinos, por esto es que puede decirse que el patrón-origen-destino escolar es relativamente fijo. Finalmente, puede decirse que la mayoría de estos viajes son realizados de dos diferentes maneras: caminando o haciendo uso del sistema de transporte.

Para el desarrollo del modelo a usar, debe ser tomado en cuenta la siguiente premisa: "Cada movimiento Origen-Destino del total de viajes del hora a la escuela, que usará el sistema de transporte depende de la poca capacidad de oferta del sistema de transporte versus la incomodidad de realizar el viaje caminando".

Con lo anterior, la forma general del modelo es una alternativa entre escoger el modo del viaje por transporte público o el caminar.

La técnica adoptada para predecir el modo de viaje entre el transporte público y caminar asume fundamentalmente que la probabilidad de escoger un modo de transporte varía con respecto a una combinación de variables como una curva logística. La forma matemática de este modelo es como sigue:

$$P_1 = \frac{e^z}{1 + e^z} \quad \text{----- (1)}$$

en donde

$P_1$  = Probabilidad de escoger el modo No 1

e = Base de los logaritmos Naperianos.

z = Una combinación de variables que afectan la selección del viaje, y

$$z = a_1 b_1 (X_{1i} - X_{2i}) \quad \text{----- (2)}$$

en donde

$X_{1i}, X_{2i}$  = Propiedad es del viaje i en los dos modos 1 y 2, y

$a, b_i$  = Coeficientes determinados del comportamiento observado.

La ecuación (1) puede ser escrito de la siguiente forma:

$$Z = \ln \left( \frac{P_1}{1 - P_1} \right) \quad \text{----- (3)}$$

Este modelo como fué enunciado anteriormente fué utilizado para el área de Kitchener-Waterloo. En este estudio los datos que sirvieron para calibrar el modelo fueron principalmente los siguientes.

- 1.- Población por zonas en grupos de 5 años, obtenidos de los Censos de Canada.
- 2.- Inscripciones escolares y límites de áreas escolares
- 3.- Patrones de origen y destino con propósito escolar obtenidos de estudios de campo realizados a bordo de autobuses en un día.

#### CALIBRACION DEL MODELO.

El primer paso en la calibración del modelo incluyó la estimación de la matriz de viajes origen-destino con propósito escolar. Esto fué realizado mediante las expresiones siguientes:

$$T_{ij} = SE_{ij} \cdot \frac{\sum_k P A^k}{\sum_k P A^k} \quad \text{----- (4)}$$

$$T_{ij} = \sum_n \frac{T_{ij}^n}{n} \quad \text{----- (5)}$$



$T_{ij}^s$  = viajes diarios hogar-escuela de la zona  $i$  a la zona  $j$  para la escuela  $s$   
 $T_{ij}^n$  = viajes diarios de la escuela  $n$  en la zona  $j$ , la cual incluye la escuela  $n$   
 $A_{ij}^k$  = número de estudiantes en el grupo de edad  $k$  en la zona  $i$  en donde el grupo de edad  $k$  corresponde a la escuela  $n$ , y  
 $T_{ij}$  = viajes diarios totales con propósito escolar de la zona  $i$  a la zona  $j$

El segundo paso incluyó la estimación de la fracción de viajes que hacen uso del sistema del transporte. De datos obtenidos en una investigación a bordo de autobuses fue realizada la matriz de viajes diarios origen-destino con propósito escolar. Con los datos anteriores, fueron estimadas las probabilidades de uso del sistema de transporte con la siguiente expresión

$$P_f = \frac{\sum_s T_{ij}^s}{T_{ij}}$$

en donde

$P_f$  = probabilidad observada de elección del sistema de transporte entre las zonas  $i$  y  $j$  y

$T_{ij}^s$  = Viajes existentes hogar-escuela de la zona  $i$  a la zona  $j$ .

Para propósitos de calibración del modelo, sólo fueron usados aquellos valores de  $P_f$  mayores que cero y  $T_{ij}$  mayores de 20 viajes

Ecuaciones alternativas para el valor  $Z$  fueron desarrolladas usando el análisis de regresión múltiple y basado en datos tales como tiempo invertido en caminar ya sea a la escuela, a la parada del autobus, o de la bajada del autobus a la escuela, tiempo de espera del autobus, tiempo invertido en pasar de una autobus a otro, tiempo invertido a bordo del autobus y costo promedio del pasaje. Con los datos anteriores fueron obtenidas diferentes ecuaciones con un diferente grado de correlación, la ecuación escogida fué la siguiente.

$$Z = 2.833 - 0.0464 (C_{ij}^t - C_{ij}^s)$$

entonces

$T_{ij}^s$  = tiempo de viaje en autobus de la zona i a la zona j

$T_{ij}^t$  = tiempo de viaje caminando de la zona i a la zona j

El modelo de separación modal consistió entonces de las siguientes expresiones

$$T_{ij}^s = P_t \times T_{ij}^t$$

$$P_t = \frac{e^z}{1 + e^z}$$

$$Z = 2.833 - 0.0464 (C_{ij}^t - C_{ij}^s)$$

## COSTOS

Este es un concepto que deber ser tomado muy en cuenta, ya que la planeación del transporte involucra la combinación entre la oferta y la demanda, pero de tal manera que sean satisfechos todos los objetivos. Es decir, la oferta además de satisfacer una demanda está basada en los costos involucrados para proporcionar el servicio del transporte.

Los principales costos básicos que se consideran para efectos de planeación, son los siguientes:

- 1.- Sueldos de operarios y beneficios
- 2.- Costos del transporte
- 3.- Costos de vehículos
- 4.- Costos generales (de administración)
- 5.- Costos capitales.

Los primeros dos costos son costos variables, en donde 1 y 2 pueden ser directamente relacionados al números de horas y kilometros respectivamente expresados como beneficios de servicio

Uno de los costos anteriores son desglosado como sigue

#### 1.- SALARIOS DE OPERADORES Y BENEFICIOS DEBIDOS A

- a) - Tiempo de operación reales
- b) - Tiempos muertos
- c) - Horas extras y actividades en días festivos
- d) - Vacaciones, pensiones, asistencia médica, etc

#### 2 - COSTOS DEL TRANSPORTE

- a).- Combustible y lubricantes
- b) - Mantenimiento y Servicio
- c) - Llantas

#### 3.- COSTOS DEL VEHICULO.

- a) - Seguro, Uniformes, Licencias, etc

#### 4.- COSTOS GENERALES

- a) - Administración y manejo, despachadores, supervisores.
- b) - Gastos de Oficina ( Luz, Teléfono, Promoción, etc.)
- c) - Impuestos

#### 5.- COSTOS CAPITALES

- a).- Capital amortizado a costos de depreciación.

#### EJEMPLO DE UNA METODOLOGIA A SEGUIR PARA EL PROYECTO DE RUTAS DE TRANSPORTE.

En líneas anteriores sólo se han bosquejado conceptos y principios que intervienen en la realización de estudios para el proyecto de sistemas de transporte. A continuación se darán los lineamientos seguidos en el área de Kitchener-Waterloo para la planeación funcional de rutas de transporte utilizando todos los conceptos y principios enunciados.

Antes, es necesario mencionar la metodología empleada El proyecto funcional de rutas

El proyecto involucra el proyecto de tres básicos componentes del sistema:

- La estructuración de la ruta del transporte propiamente dicha
- Predicción de tiempos de los autobuses o intervalos entre ellos para cada ruta durante los períodos del día y de la semana, y
- Horarios dentro de los cuales será proporcionado el servicio

Para determinar estas componentes del sistema de transporte deben tomarse en cuenta las dos consideraciones siguientes: el nivel de servicio que desea proporcionarse por el sistema y los costos que representan el proporcionar dicho nivel de servicio.

En la fig. No. 3, se muestra gráficamente el procedimiento general seguido para el proyecto funcional de los sistemas de transporte. Como es indicado en dicha figura, las actividades iniciales para el proyecto de los sistemas de transporte son la generación de rutas alternas y las predicciones de la demanda de pasajeros en esas rutas. Para cada ruta, son programadas las frecuencias y horas de servicio de autobuses de acuerdo a las demandas de pasajeros. Una vez realizado lo anterior, los costos y el impacto del servicio de las diferentes rutas deberá ser analizado.

El procedimiento general de la metodología a seguir consta de los siguientes pasos:

1.- Generación y análisis de programa de frecuencias para todos los períodos del día.

En este paso deberán ser considerados los siguientes datos:

- 1.- Rutas alternas propuestas.
- 2.- Demanda de pasajeros para cada ruta y para cada período.
- 3.- Tipo de transporte disponible para cada ruta
- 4.- Costos unitarios de operación.
- 5.- Diferentes alternativas de servicio de acuerdo a las frecuencias de los vehículos.

Las alternativas de frecuencias de autobuses son desarrolladas determinando el mínimo costo por frecuencias requerido para conocer cada conjunto de estándares de servicio.

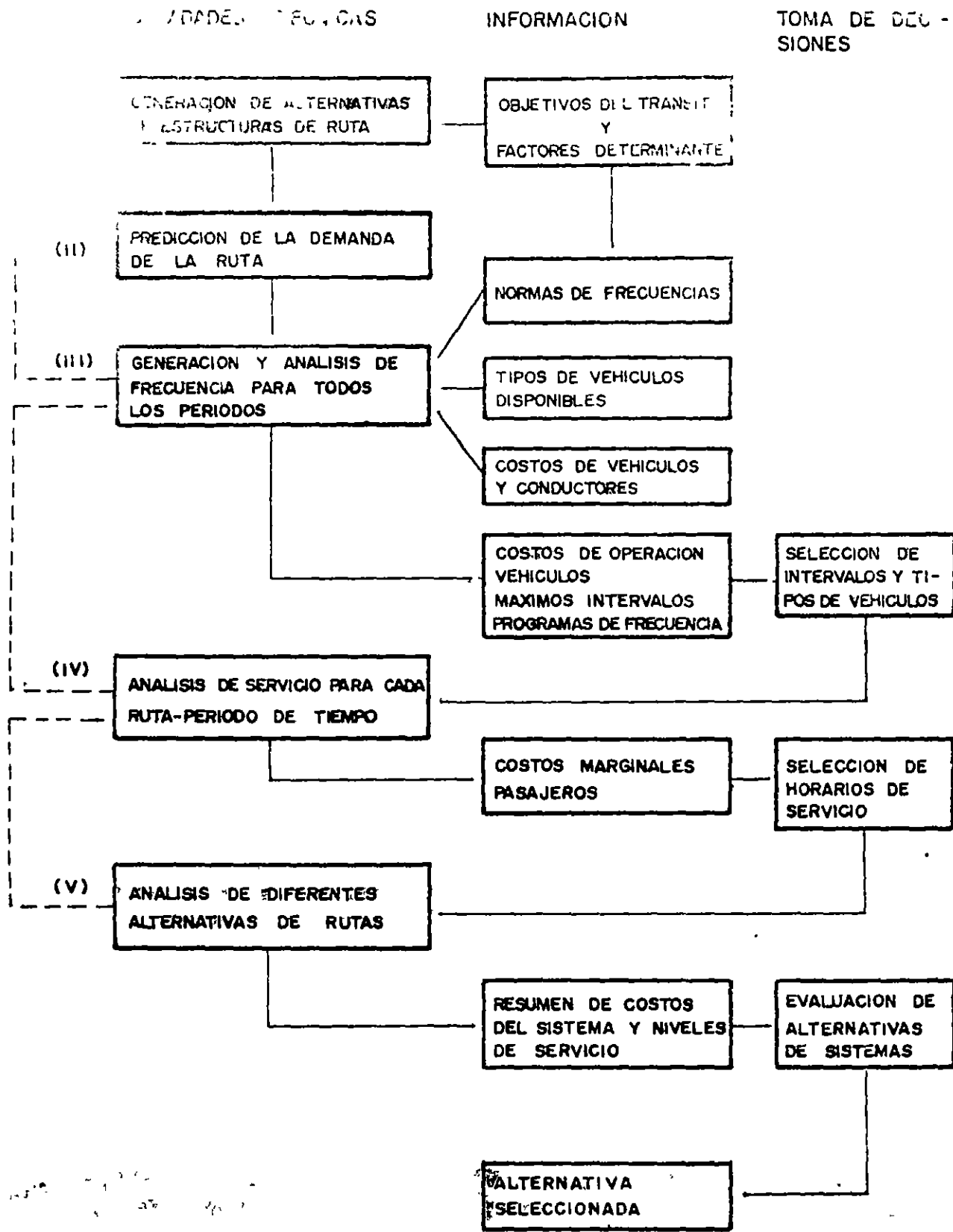


Fig 3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO FUNCIONAL

En este caso, los costos y medidas de los impactos del nivel de servicio son de carácter preliminar, y se utilizan como una base para seleccionar la frecuencia deseada y los tipos de vehículos a utilizar.

El costo del servicio para cada período y en cada ruta.

En este paso se hace una evaluación económica y demanda del servicio para cada período, con el objeto de seleccionar las horas de servicio de cada ruta.

III - Análisis de costos e impactos del servicio, de la ruta de transporte propuesta.

#### PERIODOS DURANTE EL DIA.

Estos están basados en las variaciones de la demanda a lo largo del día. Dentro de cada período considerado se mantiene más o menos un nivel de demanda uniforme. Los períodos que generalmente se han observado reúnen esta característica, son los siguientes:

- 1.- 6:00 a 9:00 hrs, días hábiles.
- 2.- 9:00 a 15:00 hrs, días hábiles.
- 3.- 15:00 a 18:00 hrs, días hábiles.
- 4.- 18:00 a 24:00 hrs, días hábiles.
- 5.- 6:00 a 24:00 hrs, sábados.
- 6.- 8:00 a 24:00 hrs, domingos.

#### GENERACION DE PROGRAMAS DE FRECUENCIAS.

La tarea principal es encontrar el mínimo costo para la frecuencia y tipo de vehículos, para una ruta dados:

- a).- La demanda de pasajeros, y
- b).- Un especificado nivel de servicio

## SERVICIO

- medidas usadas para generar los programas de frecuencia son entre otras:
- 1.- Los recursos de proyecto en cada ruta no deben ser excedidos más que en un 10% para el tiempo, durante un período de un año.
  - 2.- Los vehículos determinados para el volumen de proyecto deben ser considerados con una capacidad igual al No. de asientos más un porcentaje de pasajeros que viajen de pie.
  - 3.- Los intervalos entre vehículos no deben exceder el máximo proyectado para los diferentes períodos del día.
  - 4.- Los programas de frecuencia deben incluir paradas mínimas para que puedan ser respetados los intervalos.

## RELACIONES BASICAS PARA DETERMINACION DE INTERVALOS.

### 1.- Capacidad del vehículo:

$$V_c = V_{si} + STM \times V_{std}.$$

en donde:

$V_c$  = Capacidad del vehículo (pasajeros).

$V_{si}$  = Capacidad de pasajeros sentados.

$STM$  = Porcentaje de pasajeros permitidos a viajar parados.

$V_{std}$  = Capacidad de pasajeros parados.

Capacidad de la ruta en pasajeros por hora:

$$R_c = V_c \times 60 / H$$

en donde:

$R_c$  = Capacidad de la ruta en pasajeros por hora.

$V_c$  = Capacidad del vehículo (pasajeros).

$H$  = Intervalos entre vehículos (minutos).

unidades de unidades requeridas, para una demanda dada

$$N_v \geq D_p \times \Theta / (60 \times V_c)$$

en donde

$N_v$  = Número de unidades requeridas, donde  $N_v$  es la integral próxima más grande.

$D_p$  = Demanda de pasajeros en pasajeros/hora.

$\Theta$  = Tiempo en minutos requeridos para una unidad realizar un ciclo completo de ruta

Intervalo entre unidades

$$H = \Theta / N_v$$

II.- Tiempos de recorrido:

$$T_d = (S/V) + n \left( \frac{V}{2} \right) \left( \frac{A+B}{A \times B} \right)$$

en donde

$T_d$  = Tiempo de marcha.

$S$  = Distancia total

$V$  = Velocidad de marcha.

$n$  = Números de paradas hechas por el vehículo.

$A$  = Razón de la aceleración.

$B$  = Razón de la deceleración.

La ecuación anterior es válida sólo cuando las paradas están espaciadas uniformemente, y

$$\left( \frac{V^2}{2A} + \frac{V^2}{2B} \right) \leq s/n$$

Para casos en donde la velocidad es gobernada por las distancias entre paradas, la velocidad de marcha es:

$$V = \frac{2AB(S/N)}{A+B}$$

en donde:

$V$  = Máxima velocidad alcanzada entre paradas (asumiendo paradas igualmente distanciad.



o de paradas será función de las demandas de ascenso y descenso y es  
 lo que la llegada de pasajeros a la parada sigue la distribución de Poisson.

Probabilidad de que un vehículo no pare en un paradero está dada por

$$PB_i = \exp \left[ - (X_i + Y_i) H \right]$$

en donde

$PB_i$  - Probabilidad de que el vehículo no haga parada en  $i$ .

$X_i$  - Pasajeros esperando ascender en  $i$ .

$Y_i$  - Pasajeros que no ascenderán en  $i$ .

$H$  - Intervalo entre unidades.

Número de paradas por ciclo de ruta.

$$N = \sum_i \left[ (1 - \exp(- (X_i + Y_i) H)) \right]$$

Para la estimación del número de paradas es conveniente que la ruta sea dividida en  $k$  segmentos en los que los ascensos y descensos de pasajeros son similares. El número de paradas por segmentos, es determinada por la siguiente expresión:

$$N^k = S^k \left[ 1 - \exp(- (\bar{X}_i + \bar{Y}_i) H) \right]$$

en donde:

$N^k$  = Número de paradas hechas en el segmento  $k$ .

$S^k$  = Número total de paradas existentes en segmento  $k$ .

$\bar{X}_i, \bar{Y}_i$  = Ascensos y descensos promedio respectivamente, en las paradas en el segmento  $k$

Número total de paradas por vehículo ciclo:

$$N = \sum_k N^k + N^t$$

en donde.

$N^t$  = Número de paradas fijadas en el ciclo del vehículo

Tiempos de ascenso y descenso de pasajeros.

$$T_s = S \times \bar{X} \times T_d \quad \text{ó} \quad T_s = S \times \bar{Y} \times T_u$$

$\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  = Numero promedio de descensos o ascensos en cada parada.  
 $T_1, T_u$  = Tiempos de ascenso o descenso por pasajero.  
 Tiempo total de ciclo del vehículo

$$\Theta = T_d + T_s + T_l$$

en donde

$T_d$  = Tiempo de marcha promedio

$T_s$  = Tiempo promedio de ascenso o descenso

$T_l$  = Tiempo de paradas promedio en cada ciclo.

#### PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CICLOS EN UNA RUTA.

- 1o- Para un período de tiempo dado, es determinado un tiempo de ciclo inicial.
- 2o- Determinación del número de unidades y frecuencias.
- 3o- Basadas en los intervalos calculados, es obtenido un nuevo tiempo de ciclo.
- 4o- Para este nuevo tiempo de ciclo son nuevamente calculados el números de unidades y frecuencias requeridas.
- 5o- Comparación del No. de vehículos y frecuencias en los pasos 2o. y 4o., seleccionando el más adecuado.

#### PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL NUMERO DE UNIDADES.

- 1o.- Determine si el mínimo intervalo medio calculado satisface la demanda. Si no lo hace, calcular el intervalo mínimo, el número de vehículos y pasar al paso 7o.
- 2o.- Si, el intervalo medio satisface la demanda, calcular el número de vehículos para el volumen de proyecto.

- 6.- Aumentar los intervalos con base al número de vehículos calculado en el paso 5o.
- 7.- Si el intervalo es mayor que el máximo permisible, aumentar en una unidad el número de vehículos calculados en 2o. y realizar el paso 3o.
- 8.- Si el intervalo es mayor (73%) y más cercano al medio, del conjunto de intervalos medios permitidos.
- 6o.- Si el intervalo calculado en 5 no ofrece suficiente capacidad, considerar el número de vehículos en 2 más una unidad y regresar al paso 3o.
- 7o.- Registrar el número de vehículos requeridos y los intervalos.

#### ANÁLISIS DE PROGRAMAS DE FRECUENCIA, HORARIOS DE SERVICIO Y ESTRUCTURA DE LA RUTA.

El objeto de desarrollar el algoritmo, es con el fin de analizar las alternativas propuestas. Cada alternativa y sus costos, niveles de servicio, porcentaje de pasajeros parados, etc. pueden ser evaluados por los técnicos. Se sugiere que el análisis de las diferentes alternativas se realice en 3 pasos.

- 1.- Análisis de las diferentes alternativas de programas de frecuencias (para todos los períodos).
- 2.- Análisis de horas del servicio (por período de tiempo y por ruta).
- 3.- Análisis de las diferentes rutas.
  - 1.- Análisis de programas de frecuencias.- Considerandos
    - a).- Cupo de unidades.
    - b).- Máximos intervalos entre vehículos.
    - c).- Apego al programa de frecuencias de los vehículos.
    - d) - Tiempos de espera de autobuses.

El inciso a) es medido por el porcentaje de pasajeros que viajan parados. Las normas de

El costo del proyecto y el número de pasajeros parados permitido, influyen también en el porcentaje de pasajeros parados. En un período de un año puede ser necesario ajustar el número de unidades de acuerdo a las variaciones de la demanda en el tiempo. La variable del inciso b), es tomada como el máximo intervalo calculado para cada período de tiempo. Por lo que respecta al análisis del inciso c), es conveniente la revisión de las frecuencias, ya que existen paradas ajenas a los vehículos que hacen desfases los intervalos entre ellos. Una manera de determinar el apego al programa, es el determinar el porcentaje de unidades que después de regresar a su punto de partida, salen a tiempo para el siguiente ciclo.

## 2.- Análisis de las horas de servicio

Una simple medida de la efectividad del servicio del transporte en una ruta, es el número de pasajeros servidos por períodos de tiempo. De acuerdo a un análisis comparativo de costos por pasajero, tomando en cuenta los gastos que se efectúan, puede ser determinado si el horario de servicio deberá ser reducido o terminado en cada ruta.

## 3.- Análisis de las rutas.

Los tiempos de viaje son los principales determinantes de la estructura de la ruta. Investigaciones respecto a incomodidades respecto a caminar hasta la parada, tiempos de espera, y tiempo de viaje, todos ellos traducidos en costos, indican que un minuto a bordo de un autobus es equivalente a 2 o 3 minutos caminando y esperando. Así, el tiempo de cada pasajero puede ser estimado como sigue

$$C_{ij} = \alpha_k (T_1 + T_2) + \alpha_t (T_3 + T_4) + T_5.$$

en donde

$C_{ij}$  = Tiempo de viaje preponderante de la zona i a la zona j.

- 1. Costos invertidos en cumplir de o hacia la ruta de transporte
- 2. Costo de espera
- 3. Costo invertido en transferencia de rutas
- 4. Costo de traslado del aurobus por ascenso
- 5. Desagrado por tiempo de camino relativo al tiempo de viaje, (usualmente 2 o 3)
- 6. Desagrado por tiempo de espera relacionado al tiempo de viaje, (2 a 3, generalmente)

Las mejoras del nivel de servicio en una ruta alterna son medidos por el ahorro en tiempo de viaje. La efectividad de una ruta (considerando el viaje a partir del origen) es medido por

$$AC_i = \sum_j \frac{(T_{ij}^o + T_{ij}^N)}{2} (C_{ij} - C_{ij}^N)$$

en donde

$AC_i$  = Ahorro total en tiempo de viaje con origen en la zona  $i$

$T_{ij}$  = Número de viajes de  $i$  a  $j$  en el sistema existente

$T_{ij}^N$  = Número de viajes de  $i$  a  $j$  en el sistema alterno.

$C_{ij}$  = Tiempo de viaje predominante de  $i$  a  $j$  en el sistema existente

$C_{ij}^N$  = Tiempo de viaje predominante de  $i$  a  $j$  en el sistema alterno propuesto.

#### 4.- Análisis de Costos

Los costos deber ser estimados para cada período de tiempo tanto como sean requeridos para el análisis de las horas de servicio. Estos costos por períodos de tiempo son entonces adicionados para el análisis de los programas de frecuencias y rutas. Los costos de administración son considerados constantes para todas las alternativas. Los costos que se deberán determinar son:

$$AMC_{ir, it} = (CPM_{iv} \times MPVC_{ir, it} \times CPTS_{ir, it} \times NV_{ir, it} \times TSPY_{ir, it}) + (CPM_{iv} \times MPS_{ir, it} \times NS_{ir, it})$$

$$AHC_{ir, it} = (CPH \times HPVC_{ir, it} \times CPTS_{ir, it} \times NV_{ir, it} \times TSPY_{ir, it}) + (CPH \times HPS_{ir, it} \times NS_{ir, it})$$

en donde

AMC = Costos marginales por kilometraje anuales

CPM = Costo por vehículo kilómetro

CPV = Costo por ciclo del vehículo

CPT = Ciclos por período de tiempo para cada vehículo

NV = Número de vehículos usados

TSPY = Número de períodos de tiempo anuales

MPS = Distancia promedio de la estación a la ruta

NS = Número de vehículos dispuestos.

AHC = Costos horarios anuales.

CPH = Costos por hora.

HPVC = Horas por ciclo del vehículo

HPS = Tiempo promedio dispuesto.

ir, it, iv = sufijos denotando ruta, período de tiempo, y tipo de vehículo.

Los costos anuales del vehículos para cada ruta son estimados como:

$$ACPVir = CPViv \times NPHV_{ir, iv}$$

Donde

ACPV = Costos anuales por vehículo por ruta.

CPV = Costos anuales por vehículo

NPHV = Número de unidades en la hora de máxima demanda.

Los costos marginales del vehículos para cada período de tiempo son calculados, dividiendo el costo anual del vehículo por cada vehículo (CPViv) entre los períodos de tiempo para los cuales el vehículo es requerido.

Los Costos marginales de operación para cada ruta-período de tiempo son entonces:

$$MC_{ir, it} = AMC_{ir, it} + AHC_{ir, it} + MAVC_{ir, it}$$

Costos marginales de operación para el periodo de tiempo  $t_1$  en la ruta  $r_1$

Costos marginales del vehículo para la ruta  $r_1$ , y período de tiempo  $t_1$

## CONSIDERACIONES PARA UN BUEN PROYECTO DE OPERACION DE SISTEMA DE TRANS- PORTE (AUTOBUSES)

### 1.- Localización de la ruta.

a) - En algunas áreas es posible cambiar la ruta para proveer mejor servicio a los usuarios, dando mejores accesos a edificios de departamentos, escuelas, arenas, etc.

b) - Evitar operación en calles de una solo sentido de tránsito en donde sea posible para proporcionar mejor seguridad e identidad de la ruta.

c). - Evitar áreas congestionadas locales, así como eliminar estacionamientos permitidos en áreas congestionadas.

d) - Selección de rutas con motivos estéticos para evitar aburrimento de los pasajeros.

### 2.- Paradas de autobuses y Punto de transferencia.

a). - Serán seleccionadas evitando estacionamientos en las cercanías de la parada, asimismo deberá seleccionarse la parada antes o después de la intersección según las características operacionales.

b). - Ubicar las paradas de tal manera que sean convenientes a los usuarios que van a centros comerciales, escuelas, etc.

c). - Colocar las paradas a una distancia aproximada de 200 a 250 m. entre ellas

d) - Construcción de casetas de abrigo cuando la demanda de pasajeros lo amerite.

### 3.- Programas de frecuencias.

a). - Verificación de actuales tiempos de viaje, permitiendo tiempos razonables -

en cada parada para ascenso y descenso de pasajeros

b) - Debera considerarse la distancia y por lo tanto el tiempo invertido de y hacia el punto para el inicio del servicio

c) - Coordinación de autobuses en puntos de transferencia para menos espera de los usuarios

d) - Preparar costos detallados de la actual ruta y de una alterna con el objeto de determinar si puede haber modificaciones, de frecuencia. Esta determinación resultará de la comparación de ambos costos.

e) - Preparar un programa de tiempos para el Departamento de Relaciones Públicas antes de cualquier cambio de ruta.

f) - Programar entrenamientos de conductores en nuevas rutas.

g).- Desarrollar un programa de implementación o cambios de rutas, en cooperación con los conductores, equipo y relaciones públicas

También es importante, para el buen funcionamiento del sistema, que los conductores tengan el tiempo necesario para checar sus unidades, llenar sus reportes y fundamentalmente entrenamiento previo cuando son requeridos nuevos conductores



## DISTRIBUCION DE VIAJES

### INTRODUCCION

En toda planeación de transporte no sólo es importante el determinar la cantidad o volumen de viajes que se mueven o moverán de una zona a otra. Es necesario, después de haber determinado la generación de viajes el saber como es que esos viajes van a ser distribuidos en la red vial existente o propuesta.

Para realizar este aspecto, es necesario partir de las encuestas de origen y destino, con el fin de determinar los diferentes polos generadores o de atracción de viajes. Con estos datos, se forma una matriz cuadrada en la que cada una de las casillas representa las diferentes zonas en que es dividida la zona. En la casilla intersección de una fila con una columna, se representa el número de viajes realizados de una zona a otra.

Los diferentes modelos de distribución pretenden determinar las tablas de origen y destino futuras, con base a las matrices actuales y a la generación presente y futura de viajes.

### MODELOS DE DISTRIBUCION.

Se pueden clasificar en dos grupos.

I.- Modelos de factor de crecimiento.

II.- Modelos sintéticos.

I.- Modelos de Factor de Crecimiento.

Se fundamentan principalmente en la suposición de que la distribución de viajes en el futuro será similar a la actual, afectándose exclusivamente por determinados factores de

Crecimiento

Los principales métodos en este grupo, son los siguientes:

- a) - Método del factor uniforme.
- b) - Método del factor medio.
- c) - Método de Detroit.
- d) - Método de Fratar

1).- Método del Factor Uniforme. Este método supone que la distribución futura de viajes será semejante a la actual multiplicada por un factor constante para toda el área de estudio. Matemáticamente es expresada como sigue:

$$V_{ij} = K v_{ij} ; \quad K = \frac{V}{v}$$

en donde:

$V_{ij}$  = Viajes en el futuro entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$v_{ij}$  = Viajes actuales entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$K$  = Factor de crecimiento medio del área en estudio.

$V$  = Número total de viajes en el futuro en el área en estudio.

$v$  = Número total de viajes en la actualidad en el área en estudio.

Deberá verificarse:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_{ij}$$
$$v = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

Este método presenta graves inconvenientes debido principalmente a que se supone que el crecimiento de todas las áreas de la zona en estudio es uniforme.

2).- Método del Factor Medio. - Este método presenta ventajas sobre el de factor uniforme, en el sentido de que el factor aplicativo para la determinación de viajes futuros no es uniforme, sino que depende de los factores de crecimiento de cada pareja de

Se expresa mediante la siguiente fórmula

$$V_{ij} = v_{ij} \frac{K_i + K_j}{2}$$

en donde

$$K_i = \frac{V_i}{v_i} \quad ; \quad K_j = \frac{V_j}{v_j}$$

$V_{ij}$  = Viajes en el futuro entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$v_{ij}$  = Viajes actuales entre las zonas  $i$  y  $j$

$V_i$  = Viajes en el futuro con origen en la zona  $i$ .

$V_j$  = Viajes en el futuro con destino en la zona  $j$ .

$v_i$  = Viajes actuales con origen en la zona  $i$ .

$v_j$  = Viajes actuales con destino en la zona  $j$ .

$K_i$  = Factor de crecimiento en la zona  $i$ .

$K_j$  = Factor de crecimiento de la zona  $j$ .

Por lo tanto, deberán verificarse las siguientes relaciones:

$$\sum_{j=1}^n V_{ij} = V_i; \quad \sum_{i=1}^n V_{ij} = V_j; \quad \sum_{j=1}^n v_{ij} = v_i; \quad \sum_{i=1}^n v_{ij} = v_j$$

Aplicado el procedimiento anterior para cada pareja de zonas, llegaríamos a obtener

un número de viajes generado para cada una de ellas, por ejemplo, en la zona  $i$ :

$$\sum_{j=1}^n V_{ij} = V_i$$

Naturalmente, que con anterioridad ya habrá sido obtenidos el número de viajes generados por cada zona ( $V_i$ )<sub>r</sub>. Ambas cifras no tienen porqué coincidir, por lo que habrá que aproximarlas mediante iteraciones sucesivas.

De la misma forma ocurrirá con los viajes atraídos por una determinada zona  $j$ :

$$\sum_{i=1}^n V_{ij} = V_j$$

y los obtenidos del análisis de regresión ( $V_j$ )<sub>r</sub>.

Estas iteraciones se hacen sustituyendo los factores de crecimiento  $K_i$  y  $K_j$  por otros -

des que

$$k_i = \frac{(V_i)_r}{V_i} \quad , \quad k_j = \frac{(V_j)_r}{V_j}$$

Con los nuevos factores deberán ser calculados valores  $V'_i$ . A partir de ellos serán calculados los nuevos factores

$$k''_i = \frac{(V_i)_r}{V'_i} \quad , \quad k''_j = \frac{(V_j)_r}{V'_j}$$

El procedimiento anterior es repetido tantas veces, hasta obtener valores de  $k''_i, k''_j$  sucesivamente próximos a la unidad. Aunque como fué mencionado este método presenta ventajas al anterior, el grado de aproximación obtenido no es muy deseable, además de las sucesivas iteraciones que deberán ser realizadas.

3).- Método de Detroit.- En realidad, es una variación del Método del Factor Medio, el cual se expresa mediante la siguiente fórmula

$$V_{ij} = \sigma_{ij} \frac{K_i \times K_j}{K}$$

en donde:

$V_{ij}$  = Viajes en el futuro entre las zonas i y j.

$v_{ij}$  = Viajes actuales entre las zonas i y j.

$K_i$  = Factores de Crecimiento de la zona i.

$K_j$  = Factor de crecimiento de la zona j.

$K$  = Factor de crecimiento medio del área del estudio.

Como en el caso anterior, habrán sido obtenidos el número de viajes realmente generados por cada zona  $(V_i)_r$  por medio de análisis de regresión, los cuales no coincidirán con los  $V_i$  obtenidos a partir de este método. Por lo tanto, será preciso utilizar nuevamente el método de iteraciones sucesivas hasta encontrar la mayor aproximación.

d).- Método de Fratar.- Está representado por la expresión siguiente:

$$V_{ij} = \sigma_{ij} \times k_i \times k_j \frac{L_i + L_j}{2}$$

$V_{ij}$  - viajes en el futuro entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$V_{ij}$  - viajes actuales entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$K_i$  - factor de crecimiento de la zona  $i$ .

$K_j$  - factor de crecimiento de la zona  $j$ .

$L_i$  - factor que expresa la inversa de la atracción media de todas las otras zonas sobre la zona  $i$ , y cuya expresión es la siguiente:

$$L_i = \frac{\sum_{m=1}^n V_{im}}{\sum_{m=1}^n (K_m \times V_{im})}$$

$L_j$  - factor que expresa la inversa de la atracción media de todas las otras zonas sobre la zona  $j$

$$L_j = \frac{\sum_{m=1}^n V_{jm}}{\sum_{m=1}^n (K_m \times V_{jm})}$$

En este método, al igual que los anteriores es necesario realizar un proceso iterativo, para hacer converger los valores  $(V_i)_r$  y  $V_i$  y cuyo proceso afectará también  $L_i$  y  $L_j$ .

$$k'_i = \frac{(V_i)_r}{V_i} \quad , \quad k'_j = \frac{(V_j)_r}{V_j} \quad , \quad L'_i = \frac{\sum_{m=1}^n V_{im}}{\sum_{m=1}^n (k'_m \times V_{im})}$$

## II.- MODELOS SINTETICOS

1).- Modelo de Gravedad.- La premisa fundamental en la que se basa este modelo para la distribución de los viajes es suponer que los destinos de los viajes generados se reparten a las diferentes zonas en función directa del número de viajes atraídos por ellas y en función inversa de la distancia entre la zona origen y las zonas destino. Es uno de los métodos tradicionales y se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$V_{ij} = V_i \frac{\frac{FA_j}{d_{ij}^\alpha}}{\frac{FA_1}{d_{i1}^\alpha} + \frac{FA_2}{d_{i2}^\alpha} + \dots + \frac{FA_n}{d_{in}^\alpha}} \quad \dots (A)$$

onde:

$V_{ij}$  Viajes actuales entre las zonas  $i$  y  $j$

$A_i$  Viajes generados por la zona  $i$

$F_n$  Fuerza de atracción de la zona  $n$ .

$d_{ij}$  Distancia entre las zonas  $i$  y  $j$ , generalmente expresada como tiempo.

$\alpha$  Exponente que modifica la influencia de la distancia.

$\alpha$ , Expresa la mayor o menor resistencia que la separación entre dos zonas representa para la realización de un viaje, mientras mayor sea este exponente, mayor será la resistencia que presente. Este coeficiente variará de acuerdo al propósito de los viajes; a valores mayores de  $\alpha$  corresponderá mayor influencia de la separación en la realización del viaje. Para motivos de trabajo son empleados valores de  $\alpha$  próximos a 1.2, - mientras que los otros tipos de viaje pueden alcanzar valores hasta de 3.0.

Lo anterior es debido a que viajes con propósito de trabajo deben ser realizado, forzosamente cualquiera que sea la distancia que haya que recorrer, puesto que es muy difícil el seleccionar la vivienda próxima al trabajo o viceversa. En cambio, viajes con motivo de compras o de esparcimiento, pueden ser seleccionados por el viajero, concediéndole una importancia mucho mayor a la distancia; es decir, siempre procurará que su destino se encuentre lo más cerca posible del punto de partida u origen.

La fuerza de atracción que ejerce la zona de destino será una función de las mismas variables que sirven para determinar la atracción de la zona. Comp previamente a la distribución de viajes tuvieron que haberse hechos estudios de regresión para la determinación de la generación y atracción de viajes, tanto actuales como futuros de cada una de las zonas podrán ser sustituidos estos valores en la fórmula anterior, la cual se expresará entonces, como sigue:

$$V_{ij} = \frac{A_j}{d_{ij}^\alpha}{\frac{A_1}{d_{i1}^\alpha} + \frac{A_2}{d_{i2}^\alpha} + \dots + \frac{A_n}{d_{in}^\alpha}} F_i$$

... 03706

$G_i$  Viajes actuales generados por la zona  $i$ .

$A_j$  Viajes actuales atridos por la zona  $j$ , teniendo los demás elementos de la fórmula  $V_{ij}$  el mismo significado de la primera fórmula.

La última fórmula, que representa la distribución actual de viaje, puede servir para expresar también la distribución futura de los viajes.

$$V_{ij} = G_i \frac{\frac{A_j}{d_{ij}^\alpha}}{\frac{A_1}{d_{i1}^\alpha} + \frac{A_2}{d_{i2}^\alpha} + \dots + \frac{A_n}{d_{in}^\alpha}}$$

el significado de todos los elementos son ya conocidos, pero referidos en este caso a la situación futura.

En las fórmulas anotadas, todos los elementos son conocidos a excepción del valor  $x$ . Este puede ser obtenido a partir de la fórmula (A), ajustando su valor de tal manera que alguna característica significativa de los viajes sea igual para la distribución teórica obtenida a partir del modelo y para la distribución real deducida de las tablas de Origen y Destino obtenidas de las encuestas. La característica más frecuente usada es la distribución de frecuencia de la longitud de viajes. Esta distribución de frecuencias habrá que ir ajustándola, mediante la suposición de valores de  $x$ , hasta obtener una aproximación satisfactoria.

Como en los procedimientos anteriores, los valores de  $v_{ij}$  obtenidos a partir de las fórmulas de gravedad, no coincidirán en general, con los reales obtenidos a partir de las tablas de Origen y Destino, para lo cual se utiliza un método de iteración similar a los que hemos visto. Una vez realizada la primera aplicación de la zona, se sustituye el valor  $A_j$  por:

$$A'_j = \frac{(A_j)^2}{\sum_{i=1}^n (v_{ij})_r}$$

$$A_i = \frac{(A_i)^2}{\sum_{i=1}^n (v_i)r}$$

El factor de  $\alpha$  es creciente conforme aumenta la distancia, pero existe una determinada longitud dentro de la cual  $\alpha$  es menor mientras mayor es la longitud dentro de la distancia. Así, podemos decir que existan más viajes a distancias tales como 500 metros, que a distancias de 100 metros.

Por lo anterior, podemos resumir dichos conceptos en la siguiente fórmula.

$$V_{ij} = G_i \frac{A_j F(t_{ij}) K_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_j F(t_{ij}) K_{ij}}$$

en donde,

$F(t_{ij})$  = Factor empírico, dependiente del tiempo de viaje y que expresa el efecto de la separación  $t_{ij}$  entre dos zonas.

$K_{ij}$  = Factor de ajuste que permite la incorporación al modelo de gravedad de los lazos económicos y sociales especiales que puedan existir entre dos zonas determinadas.

$F(t_{ij}) = \frac{1}{t_{ij}}$  siendo  $t_{ij}$  el tiempo en que, como se ha mencionado, se mide la separación entre zonas.

En la mayoría de los estudios no se toma en cuenta el coeficiente  $K_{ij}$  ( $K_{ij}=1$ ), con lo que se obtiene una simplificación notable del uso de la fórmula.

Si el modelo de gravedad se desarrolla según este tipo de fórmula será necesario determinar el valor de la función  $F(t_{ij})$  a partir de las condiciones actuales, en una forma similar a la empleada para determinar  $\alpha$ .

El ajuste necesario para igualar los valores  $v_{ij}$  del modelo y los reales, se realiza me-



La introducción de un parámetro  $\lambda$  que se va variando hasta que dicho ajuste produce

De lo anterior, la expresión de la fórmula sería como sigue

$$V_{ij} = \lambda G_j A_j F(t_{ij})$$

suponiendo  $K_{ij}=1.0$

La utilización del modelo, básicamente puede resumirse como sigue:

a).- Determinación, a partir de las tablas de Origen y Destino, la distribución de frecuencias reales de la duración de los viajes ( Ver figura 1). Dicha distribución corresponde en el caso de la figura al período comprendido entre las seis y media y las nueve y media de la mañana, que fué para el que se realizó el estudio.

b).- Adoptar una forma arbitraria para la función  $F(t_{ij})$ , ver figura 2. Introduciendo esta función en el modelo de gravedad para la situación actual, se elabora una nueva tabla de Origen y Destino, a partir de la cual se determina la distribución de frecuencias de la duración de los viajes resultantes ( Ver figura 3). Comparando ambas figuras se realiza un ajuste de  $F_{ij}$ , repitiéndose por dos veces este proceso (ver figuras 4 y 5), hasta conseguir un ajuste adecuado entre la distribución de frecuencias real y la teórica. Este ajuste puede observarse gráficamente en el Fig. 6.

c).- A partir de los valores de  $F(t_{ij})$  de la figura 5 y mediante la aplicación de los mismos a la fórmula del modelo de gravedad correspondiente a la situación futura, puede ser determinada la distribución de aquellas entre las diferentes zonas en el año futuro.

La suposición de la constancia de  $F(t_{ij})$  a lo largo del tiempo, en la que se basa la teoría del modelo de gravedad, constituye su punto más débil. Sin embargo, para previsiones que no sean a muy largo plazo la precisión que se obtiene se encuentra dentro de los márgenes de error tolerables.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA DURACION REAL DE LOS VIAJES

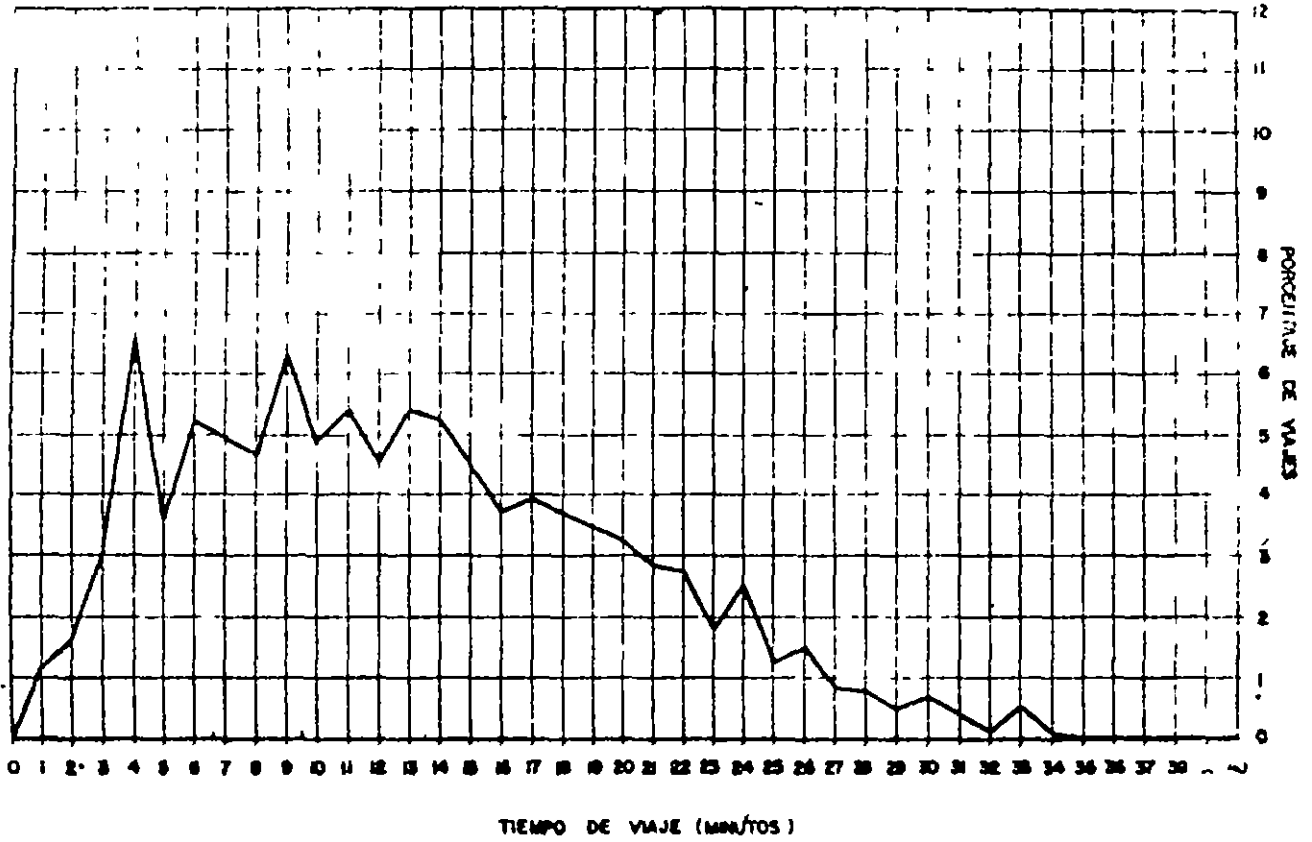


Figura No. 1

FUNCIÓN ARBITRARIA DEL TIEMPO DE VIAJE  $F_1(t, \lambda)$   
Primer ensayo

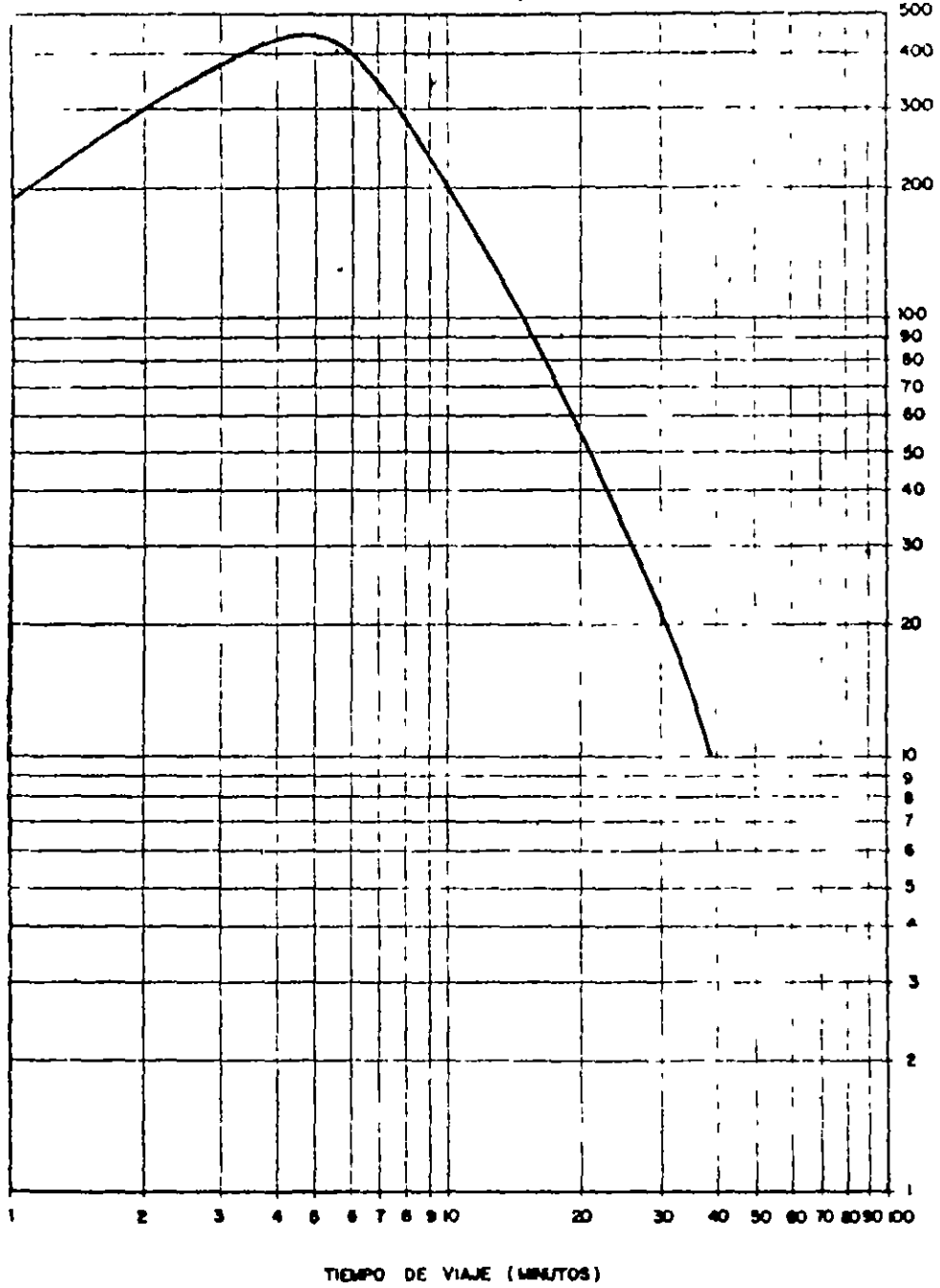


Figura No. 2

DISTRIBUCION DE LA DURACION DE LOS VIAJES, BASADA EN  $F_1(t_{11})$   
Primera aproximación

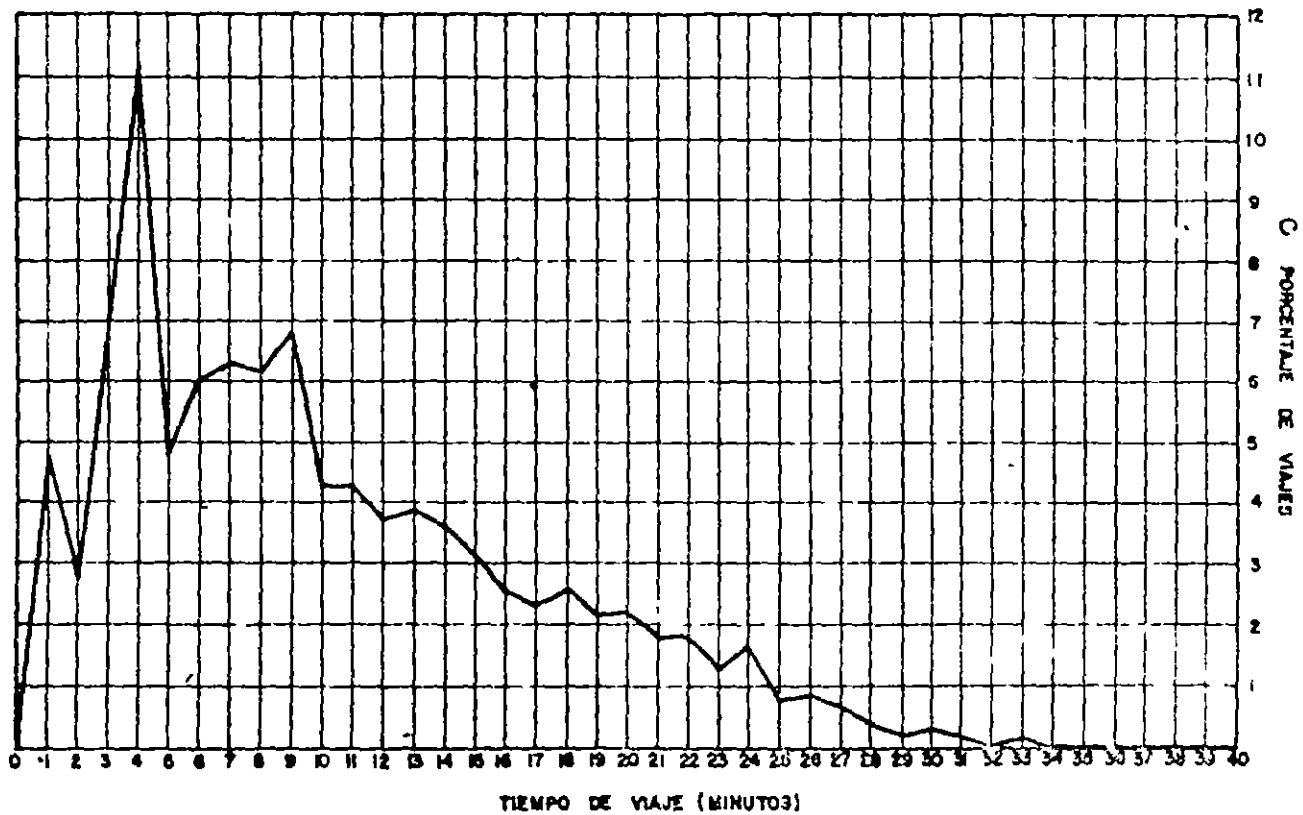


Figura No. 3

FUNCION DEL TIEMPO DE VIAJE  $F_z(t_1)$   
Segundo ensayo

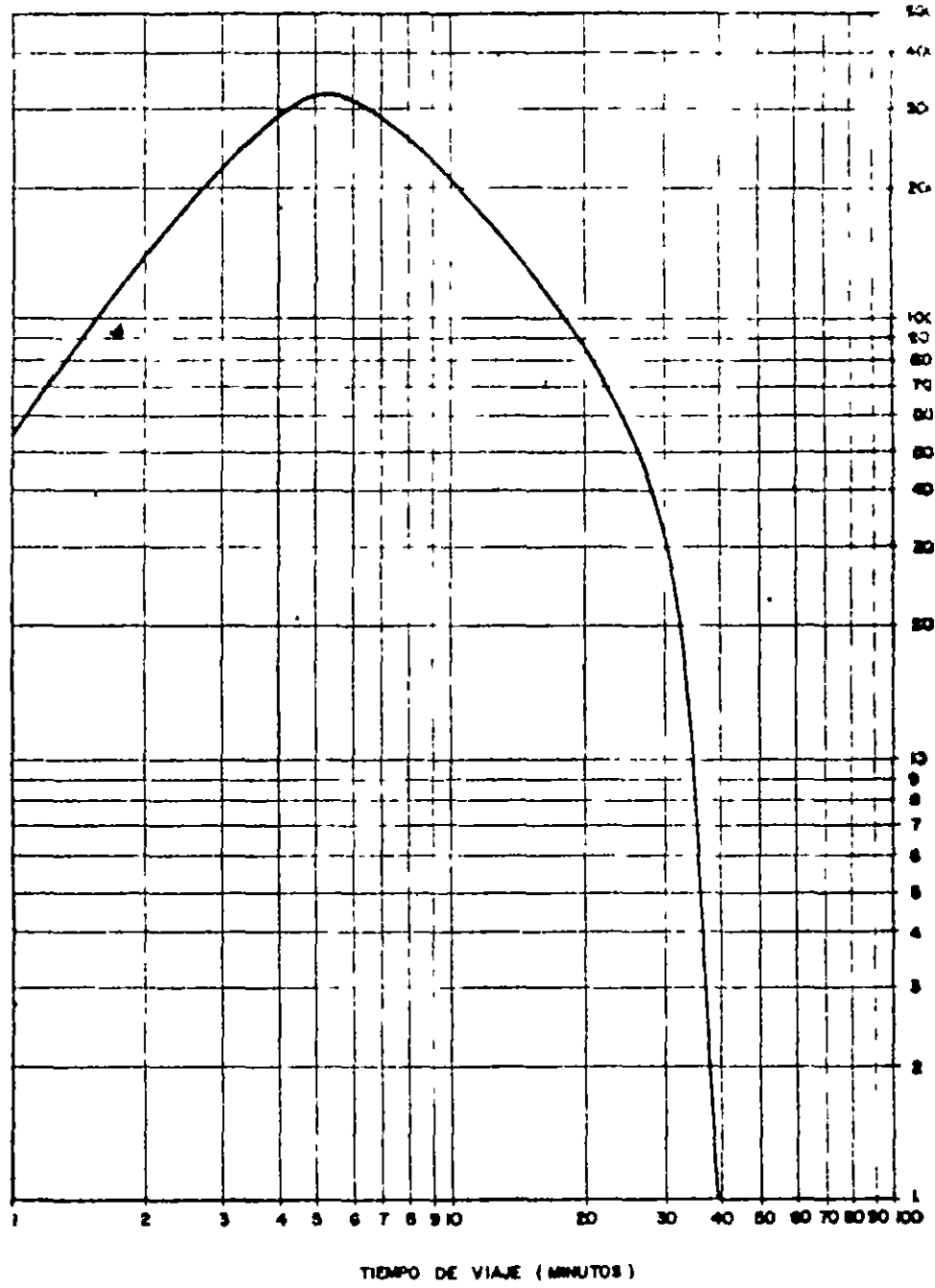


Figura No. 4

FUNCION DEL TIEMPO DE VIAJE  $F_a(t, j)$   
Tercer ensayo

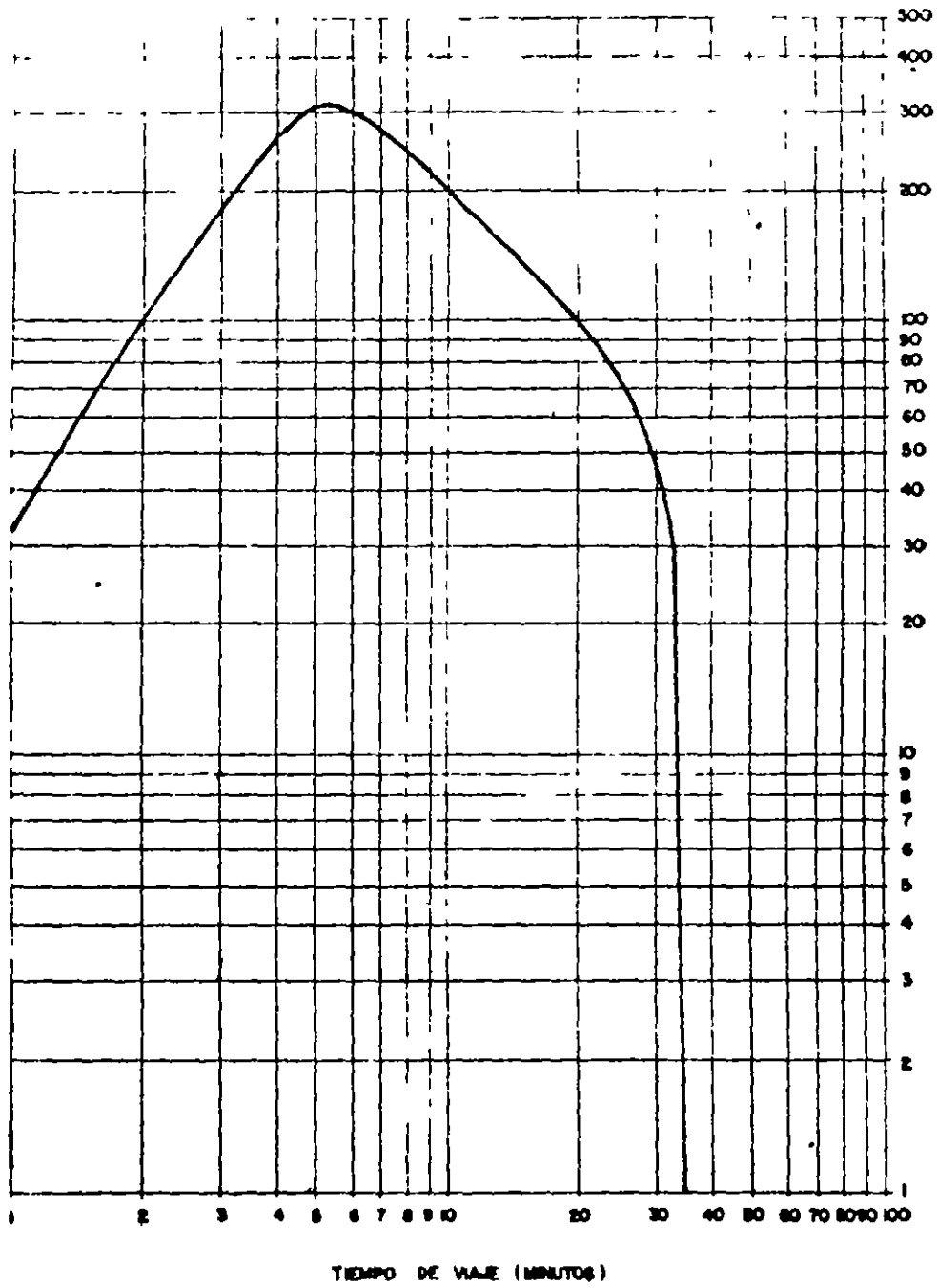


Figura No. 5

Modelo de Interactancia.- Este es una variante del de gravedad. La diferencia consiste en que la función  $F(t_{ij})$  depende (en el de gravedad), del tiempo de viaje. En cambio, en este modelo hace intervenir también la distancia entre las zonas y el centro de la ciudad. Esta característica estriba en comprobaciones reales en el campo de que el número de viajes, para una misma distancia y para similares condiciones, aumenta al aumentar la distancia de las zonas origen y destino al centro comercial de la ciudad.

Presenta la desventaja de que requiere la participación de técnicos especializados para llevar a cabo profundos estudios de Origen y Destino mediante encuestas domiciliarias, los cuales son los que económicamente son más inconvenientes.

3).- Modelo de Oportunidades.- Se distinguen en este tipo dos modelos diferentes.

- a).- El de las Oportunidades Intermedias, y
- b).- El de las Oportunidades Concurrentes.

a).- Oportunidades Intermedias.- Se basa principalmente en suponer por un lado que el tiempo total de los viajes con origen en una zona dada es mínimo, y en que cada destino tiene una determinada probabilidad de ser escogido.

El modelo establece que la probabilidad de que un viaje generado en una zona tenga por destino otra, es proporcional al número de destinos posibles en esta zona y al número de viajes generados que todavía no han llegado a su zona de atracción. Se expresa matemáticamente como sigue:

$$v_{ij} = g_i \left[ e^{-k v} - e^{-L(a+a_j)} \right]$$

en donde:

$v_{ij}$ =Viajes actuales entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$g_i$ =Viajes generados actualmente por la zona  $i$ .

- Viajes atraídos antes de la zona  $i$ .

$a_j$  Viajes atraídos por la zona  $j$ .

$L$ -Medida de la probabilidad de que un destino dado satisfaga las necesidades que se le determino.

Es una función empírica que refleja como disminuyen los viajes al aumentar el número de destinos y la longitud del viaje.

Es necesario, que al realizar el valor a cada una de las zonas estas se ordenen en orden creciente de tiempos.

Por medio de la fórmula anterior, referida a condiciones actuales, puede ser determinado el valor  $L$ . Conocido dicho valor y aplicando la fórmula a la situación futura, podrá ser determinado el valor  $V_{ij}$ , que nos dá la distribución de viajes entre cada pareja de zonas:

$$V_{ij} = G_i [e^{-LA} - e^{-L(A+A_j)}]$$

en donde el significado de los diferentes elementos ya han sido explicados, sólo que en este caso para la situación futura.

b).- Oportunidades Concurrentes.- Parte de la base de que el poder de atracción de una zona está relacionado con el número total de destinos en la zona y con el número total de destinos entre la zona de origen y una banda, equidistante en tiempo con la zona de origen, que contenga a la de destino. Se expresa matemáticamente, como sigue:

$$V_{ij} = G_i \frac{A_j / A_x}{\sum_{x=1}^n A_j / A_x}$$

en donde:

$V_{ij}$ =Viajes con origen en  $i$  y destino en  $j$ .

$G_i$ =Viajes generados en la zona  $i$ .



es atraídos por la zona j.

Viajes totales atraídos entre la zona de origen y la banda equidistante que comienza la zona de destino

Presenta, al igual que el de oportunidades intermedias, los inconvenientes de altos costos y mayor complejidad de elaboración, dando a cambio mayor aproximación que los modelos de gravedad.

4).- Modelo del Equilibrio Preferente.- Este modelo es una variación de los de gravedad. La función  $F(t_{ij})$  se sustituye por el costo generalizado  $(C_{ij})$  elevado a la potencia  $\lambda$ . Este fué aplicado en París y para este estudio en particular sólo fueron considerados los viajes con propósito de trabajo. Se supuso, que cada uno de los individuos que componían el total de la población activa, podría clasificarse dentro de las tres categorías que a continuación se enumeran:

1a.- Personas con un lugar de residencia fijo, que eligen el lugar de trabajo de acuerdo con una ley de gravedad.

2a.- Personas con un lugar de trabajo determinado, que eligen el lugar de residencia, según una ley de gravedad.

3a.- Personas que no tienen determinado ni su lugar de residencia ni su lugar de empleo, eligiendo ambos al azar.

La expresión matemática del número de viajes entre zonas para cada una de estas categorías de personas es la siguiente:

$$V_{ij}^{\alpha} = \alpha \frac{PA_i E_j}{C_{ij}^{\lambda}} \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{E_j}{C_{ij}^{\alpha}}}$$

$$V_{ij}^{\alpha} = \beta \frac{PA_i E_j}{C_{ij}^{\lambda}} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{PA_i}{C_{i,j}^{\lambda}}}$$

$$V_{ij}^{\gamma} = \gamma \frac{PA_i E_j}{N}$$

en donde

$\alpha$   
 $V_{ij}^{\alpha}$  = viajes entre las zonas i y j para la categoría la.

$\beta$   
 $V_{ij}^{\beta}$  = viajes entre las zonas i y j para 2a. categoría.

$\gamma$   
 $V_{ij}^{\gamma}$  = Viajes entre las zonas i y j para la 3a. categoría.

$\alpha$  = Proporción de personas, del total de la población activa, que pertenecen a la categoría la.

$\beta$  = Proporción de personas, del total de la población activa, que pertenecen a la categoría 2a.

$\gamma$  = Proporción de personas, del total de la población activa, que pertenecen a la categoría 3a.

PA = Población activa.

E = Puestos de Empleo.

C = Costo Generalizado.

$\lambda$  = Exponente

$$N = \sum_{i=1}^n PA_i = \sum_{j=1}^n E_j$$

Para que el modelo sea válido, es decir, para que:

$$\sum_{j=1}^n V_{i,j} = PA_i \quad \text{y} \quad \sum_{i=1}^n V_{i,j} = E_j$$

es conveniente realizar los ajustes necesarios, puesto que después de una primera aplicación

verificados:

$$\sum_{i=1}^n v_{ij} = E_j + \alpha (E'_j - E_j) \neq E_j$$

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = PA_i + \beta (PA'_i - PA_i) \neq PA_i$$

Las variaciones producidas son  $(E'_j - E_j)$  y  $(PA'_i - PA_i)$ , correspondientes a las dos primeras categorías, las cuales se reparten proporcionalmente a las poblaciones activas y a los empleos, respectivamente, con lo que el modelo, resulta en definitiva como sigue.

$$v_{ij}^{\alpha} = \alpha \left[ \frac{PA_i \cdot E_j}{C_{ij}^{\lambda}} \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{E_j}{C_{ij}^{\lambda}}} + (E_j - E'_j) \frac{PA_i}{N} \right]$$

$$v_{ij}^{\beta} = \beta \left[ \frac{PA_i \cdot E_j}{C_{ij}^{\lambda}} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{PA_i}{C_{ij}^{\lambda}}} + (PA_i - PA'_i) \frac{E_j}{N} \right]$$

$$v_{ij}^{\gamma} = \gamma \frac{PA_i \cdot E_j}{N}$$

Obteniéndose el número total de viajes  $v_{ij}$  sumando los resultados de las tres expresiones anteriores:

$$v_{ij} = v_{ij}^{\alpha} + v_{ij}^{\beta} + v_{ij}^{\gamma}$$

Este modelo, aplicado a la situación actual, permite la determinación de los tres parámetros de que depende.

siendo:

$$\gamma = (1 - \alpha - \beta)$$

Los inconvenientes de este modelo, es la determinación del valor futuro de  
la generalizado, lo cual implica la adopción de hipótesis de poca confiabilidad  
para plazos largos, como por ejemplo hipótesis relativas a tarifas y costos del  
transporte privado.

## BIBLIOGRAFIA

- Manual de Proyecto de carreteras - Secretaría de Obras Públicas
  - Highway Capacity Manual - Highway Research Board - Special Report 87
  - Traffic Engineering - Theory and Practice - Louis J. Pignataro.
  - Traffic Signals by F. V. Webster and B. M. Cobbe.
  - Urban Bus Transit A Planning Guide.- John Shortreed, Editor.- Department  
of Civil Engineerign.- University of Waterloo.- Ontario.- Canadá
- 

- Planificación Analítica del Transporte.- Roberto Lane, Timothy J. Powell,-  
Paul Prestwood Smith.- Madrid.- 1973.
- Transportes Urbanos.- Javier Valero Calvete.- Madrid.- 1970.

