

# LA VELOCIDAD DE RECORRIDO EN VÍAS URBANAS DE ACUERDO CON EL VOLUMEN Y LA JERARQUÍA VIAL - CASO ENVIGADO -

JOHN JAIRO POSADA HENAO Y ÁNGELA BEATRIZ MEJÍA GUTIÉRREZ  
Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

**RESUMEN.** Se presenta en el trabajo la metodología seguida y los resultados obtenidos en la determinación de la velocidad de recorrido para algunas vías urbanas del municipio de Envigado, correlacionando esto con la jerarquía de la vía y el volumen vehicular en ella, en el mismo momento en que se realiza la medición de distancias y tiempos utilizados en los recorridos. Se pretende con esto realizar un diagnóstico del funcionamiento vehicular de acuerdo con los parámetros mencionados y adicionalmente buscar, para nuestro medio, un modelo de comportamiento para las variables estudiadas. En esta investigación se encontró una disfuncionalidad de las vías y una no clara relación entre las variables analizadas, debido a la combinación de muchos elementos y efectos en el tránsito como el tipo de vía, régimen de funcionamiento y control vial.

**PALABRAS CLAVES.** Velocidad, Velocidad de Recorrido, Volumen y Densidad vehicular, Vías Urbanas, Jerarquía Vial, Vías Arterial, Colectora y de Servicio.

**ABSTRACT.** The methodology and results obtained in the determination of the journey speed for some urban roads of the municipality of Envigado are presented in this paper. This speed is correlated with road hierarchy and vehicular volume simultaneously with records of distances and journey times. Our aim is to diagnose vehicular operation with respect to the aforementioned parameters, in an attempt to construct an explanatory model for local conditions. This investigation found a disfunctionality of the roads and did not find a clear relationship among the analyzed variables, due to the combination of multiple elements and effects in the traffic, such as the type of road, operation plan and road control.

**KEY WORDS.** Speed, Journey Speed, Traffic Volume and Density, Urban Roads, Vial Hierarchy, Arterial, Colector and Service Way.

## 1 INTRODUCCIÓN

El desplazamiento de un lugar a otro es un acto fundamental de la actividad humana que busca el mejoramiento de la calidad de vida, en tal sentido dependemos de la infraestructura vial que une diferentes sectores y centros urbanos.

Con el fin de brindar condiciones mas adecuadas para la sociedad, se considera necesario un transporte eficazmente planificado, donde el tiempo de desplazamiento es factor fundamental en cualquier escala territorial, rural o urbana.

La eficiencia de un sistema de transporte puede medirse, entre otros, con el criterio del menor tiempo empleado por quienes lo utilizan para sus desplazamientos. Al conocer el tiempo y la distancia recorrida se puede obtener la velocidad que, al relacionarla con el volumen vehicular, permite diagnosticar el funcionamiento de una vía específica y de una red vial. La velocidad se convierte entonces en un parámetro del tránsito, adecuado para determinar la eficacia de la infraestructura vial y los modos de transporte.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes.

Determinar la velocidad de recorrido de vehículos livianos en diferentes vías urbanas que, al relacionarla con la jerarquía vial y el volumen de tráfico, permita obtener relaciones entre estas variables y definir comportamientos para nuestro medio. Con esto se pretende diagnosticar el funcionamiento vehicular y detectar si existe algún problema funcional en ellas.

## 2 MARCO TEÓRICO

**Volumen vehicular.** Se define como la cantidad de vehículos que circulan por una sección de una vía durante un tiempo determinado. Se expresa en vehículos/hora (veh/h).

**Velocidad.** Es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, expresada en kilómetros/hora (km/h) ó en metros/segundo (m/s). Existen diversos tipos: instantánea, puntual, media temporal, media espacial, de recorrido, de marcha y de proyecto o diseño.

En el estudio que se efectúa aquí, y para los objetivos perseguidos, se utiliza la velocidad de recorrido, dada por el resultado de dividir la distancia en el viaje

entre el total del tiempo que se emplea para hacerlo. En el tiempo total se incluyen aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad debidas a las características de la vía y del tráfico vehicular, ajenas a la voluntad del conductor; demoras ocasionadas por descansos, o averías del vehículo no pueden considerarse dentro del tiempo del recorrido.

Algunas aplicaciones de los estudios de velocidad en los campos de la ingeniería de tránsito y afines, son:

Obtener tendencias de velocidades que pueden ser específicas por tipo de vehículo.

Detectar lugares con problemas de velocidad (altas o bajas).

Planear el tránsito, su operación, regulación y control.

Efectuar análisis de accidentalidad relacionada con la velocidad.

Realizar estudios tales como: capacidad, análisis diferencial de velocidades, influencia en la velocidad provocada por obstrucciones laterales o distracciones, flujo vehicular y otros.

Evaluar la eficiencia de una ruta con respecto al movimiento de la corriente vehicular.

Calcular los costos de operación vehicular y del usuario.

Planear el transporte mediante la aplicación de modelos de asignación y/o distribución de viajes y rutas.

Estimar la calidad de los controles del tránsito en las intersecciones y en carriles específicos.

Estos estudios deben realizarse para diagnosticar el funcionamiento en las condiciones actuales y formular propuestas para su mejoramiento. Luego de implementadas dichas mejoras deben hacerse nuevamente para verificar su validez; esto es lo que se denomina análisis del "antes y después".

**Densidad.** Es el número de vehículos que ocupan una longitud específica en una vía, generalmente se expresa en veh/km.

**Flujo continuo.** Situación del tránsito en el que la infraestructura no tiene elementos externos al flujo de tránsito que puedan interrumpirlo. Las condiciones de la circulación son el resultado de las interacciones entre los vehículos y las características geométricas y medio ambientales de la vía.

**Flujo discontinuo.** Situación en la que la infraestructura vial tiene elementos fijos que pueden interrumpir el flujo de circulación que obligan la detención del tráfico en forma periódica o a reducir su velocidad significativamente, independiente de cuanto tráfico exista.

Existen relaciones entre las variables velocidad, volumen y densidad para determinar las características de la corriente de tránsito para los diversos tipos de

vías con flujo continuo. Estos tres parámetros pueden relacionarse en forma aproximada empleando la siguiente ecuación:

$Q = V \times D$ , donde

Q : volumen (veh/h)

V : velocidad media de recorrido (km/h)

D : densidad (veh/km)

Entre cada par de variables existe una relación explicada en forma aproximada por unas funciones matemáticas que en general son de tipo lineal y parabólico, así:

**Relación volumen - velocidad.** Para el caso de circulación continua se observa que entre la velocidad y el volumen existe una relación parabólica, para un valor de volumen hay dos valores de velocidad. Al aumentar el volumen, se presenta disminución de la velocidad media, hasta el punto de congestión, E, a partir del cual comienzan a decrecer ambas. (Ver figura 1). Cuando el flujo es discontinuo es difícil establecer dicha relación.

**Relación velocidad - densidad.** En esta relación la velocidad varía de su valor máximo ó velocidad a flujo libre (punto A) hasta cero, cuando la densidad es máxima y todos los vehículos están detenidos uno tras otro (punto B).

Puede representarse de manera lineal con un coeficiente de correlación aceptable para vías con accesos controlados; cuando las calles no tienen ningún tipo de control es recomendable tratar de ajustar una curva con algún grado de concavidad y/o convexidad. (Ver figura 2).

**Relación volumen - densidad.** Esta relación tiene forma aproximada a una parábola. Cuando la densidad se aproxima a cero, el flujo también, lo cual representa condiciones de operación a flujo libre (punto A). Cuando la densidad es la máxima, los vehículos prácticamente se detienen (punto B). Entre los dos extremos anteriores, existe una diversidad de condiciones de flujo vehicular identificadas con los puntos C, D y E. Este último refleja características de operación a flujo máximo ó capacidad. (Ver figura 3).

Para las vías con flujo discontinuo estas relaciones no se conocen debido a la existencia de diversos elementos del control del tránsito que originan la discontinuidad del flujo vehicular.

**Jerarquía vial.** La clasificación de las vías es necesaria como un lenguaje de comunicación entre ingenieros, administradores y el público en general. Se agrupan entonces según el tipo de diseño, el número de ruta, la administración y el carácter de servicio o función que ellas proveen; siendo esta última la de interés. Para la clasificación funcional debe tenerse en cuenta entre otros aspectos a la movilidad o facilidad

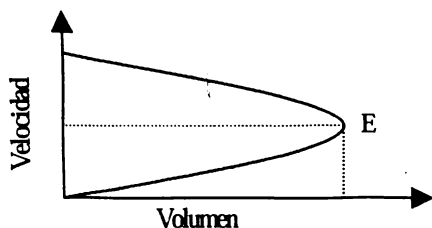


Figura 1. Relación Volumen - Velocidad

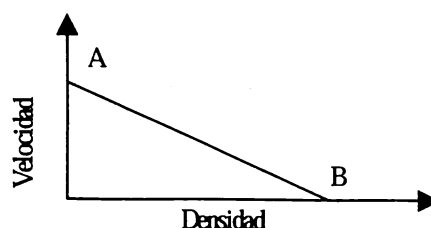


Figura 2. Relación Densidad - Velocidad

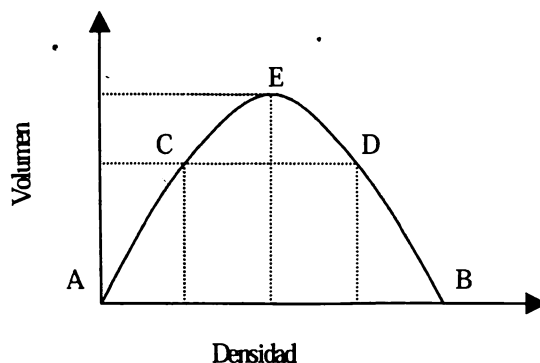


Figura 3. Relación Densidad - Volumen

de libre desplazamiento y la accesibilidad que muestra la alta o baja posibilidad de poder acceder en forma directa al final del viaje.

En términos generales, las vías para la circulación vehicular, en zona urbana, desde el punto de vista funcional se clasifican en arterias, colectoras y locales o de servicio, teniendo en cuenta la importancia relativa de los siguientes aspectos: características del tránsito, de la vía, usos del suelo, accesibilidad, continuidad, visibilidad, longitud y áreas que relaciona.

**Vías arterias.** Son aquellas controladas en sus intersecciones con sistemas semafóricos y algunas con soluciones a desnivel. Dan servicio esencialmente al tráfico de paso (largo recorrido y pocos accesos) y, como función secundaria, proporcionan acceso a propiedades colindantes. Por su sección transversal, normalmente en doble calzada cada una con un sentido de circulación, permiten alojar altos flujos de tránsito de vehículos livianos; son preferidas para la operación de sistemas de transporte colectivo de pasajeros con alta frecuencia y paradas distantes reguladas. Se recomienda en una ciudad que la longitud de arterias esté entre el 10 y 15% del total de la red vial. Para nuestro medio su velocidad de operación está reglamentada entre 40 y 60 km por hora, su pendiente máxima es del 8%.

**Vías colectoras.** Es el conjunto de vías que, a partir de las arterias, penetran a sectores urbanos homogéneos, y distribuyen el tránsito al interior de estos.

Recogen el tráfico de una red hasta llevarlo a la red arterial. Sirven para brindar tanto acceso como movilidad al tráfico dentro de las zonas residenciales, comerciales e industriales. Se recomiendan ser utilizadas para operación del sistema de transporte público como último elemento vial de acceso a este sistema. Son generalmente de una calzada y con circulación en ambos sentidos. Deben ser de características más reducidas que las arterias, pero pueden tener un tráfico intenso de corto recorrido. Como no pueden restringirse los accesos y es difícil prohibir los giros en ellas, la circulación suele desarrollarse con dificultad. La longitud total de esta red en una ciudad debe representar entre el 20 y el 30% de la longitud total de las vías, su velocidad en nuestro medio está reglamentada entre 40 y 50 km por hora y tienen como pendiente máxima el 12%.

**Vías de servicio:** también llamadas locales, son las vías al interior de los barrios y urbanizaciones. Su objetivo fundamental es servir de acceso a las edificaciones y propiedades colindantes, a partir de las vías colectoras y ocasionalmente de las vías arterias. Soportan fundamentalmente el tránsito de vehículos particulares livianos y permiten el estacionamiento en la vía. La circulación por ellas debe ser lenta y poco intensa por la característica local del tráfico. Es conveniente un desarrollo que evite el tráfico de largo recorrido y provea mejores condiciones de seguridad. La longitud

Tabla 1. Vías evaluadas y su jerarquía.

ARTERIA	COLECTORA	SERVICIO
Avenida las Vegas	Calles 50,40 H y 35 Sur	Calle 33 B Sur
Avenida El Poblado	Carreras 41y 43	Diagonal 32
Calles 37 y 38 Sur	Diagonal 40	Transversales 32 A y 34 D Sur
Paralelas quebrada La Ayurá		

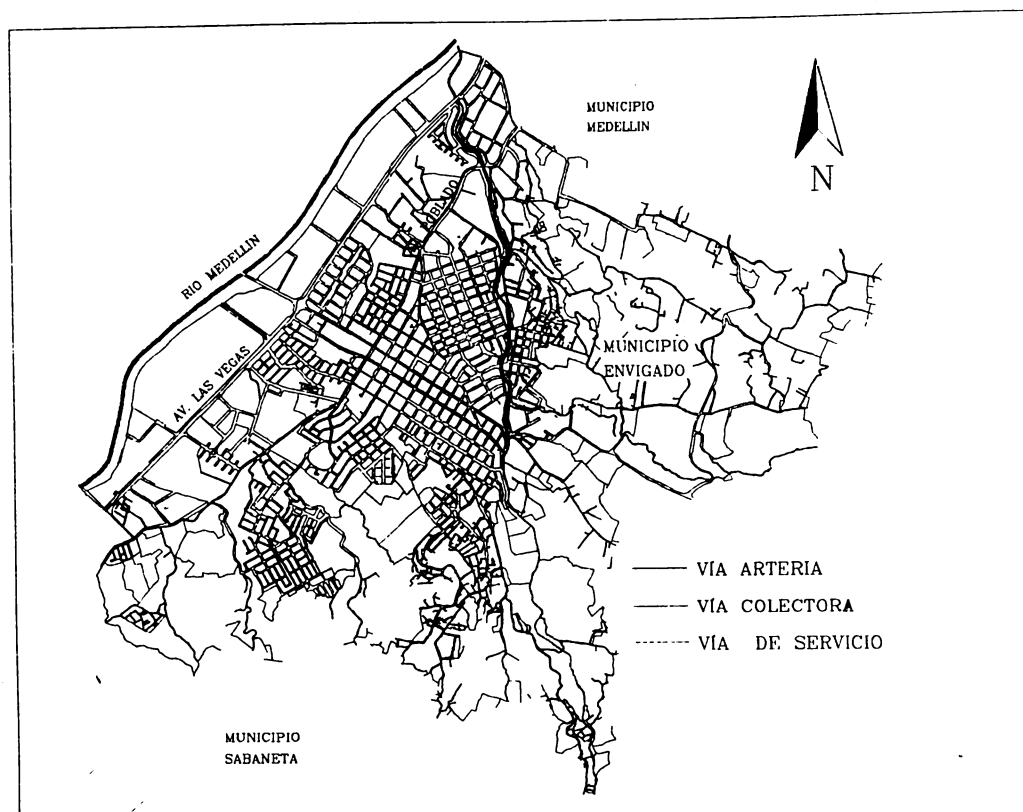


Figura 4. Vías evaluadas y su jerarquía.

total de esta red en una ciudad representa entre el 60 y el 80% de la longitud total de vías, en nuestro medio la velocidad no debe superar los 40 km por hora y tener 16% como pendiente máxima.

### 3 EXPERIMENTO

Para determinar los parámetros de estudio se midieron el tiempo, la distancia y los volúmenes vehiculares en tramos de vías previamente definidas.

Toda la parte experimental se desarrolló en vías de Envigado, municipio que se encuentra ubicado en el centro del departamento de Antioquia, en el Valle de Aburrá al sur de Medellín. Cuenta con un buen nivel de vida y una malla vial en buen estado con continuidad hacia y desde los municipios vecinos del Área Metropolitana, entidad territorial de la cual no hace parte administrativamente pero si geográfica, social y económicamente.

Las vías se identificaron sobre el plano de la Red Vial del Municipio de Envigado seleccionándose rutas representativas que incluyeran vías arterias, colectoras y de servicio. Estas rutas se dividen en tramos, definiendo sus puntos iniciales y finales y la ubicación de los sitios de aforo en puntos donde el número de vehículos se equilibrara entre entradas y salidas al tramo. Para determinar estos puntos de control se utilizaron sitios específicos como intersecciones semaforizadas o no, empalmes de ramales de entrada y salida, pasos a desnivel y lugares donde cambian las características de la vía (geometría, pendiente, sentidos, volumen vehicular).

El grupo de vías seleccionadas y su clasificación quedó conformado por 5 vías arterias, 6 colectoras y 4 de servicio, como puede observarse en la tabla 1 y figura 4.

Los parámetros tiempo y distancia se obtuvieron recorriendo con un vehículo varias veces los tramos en

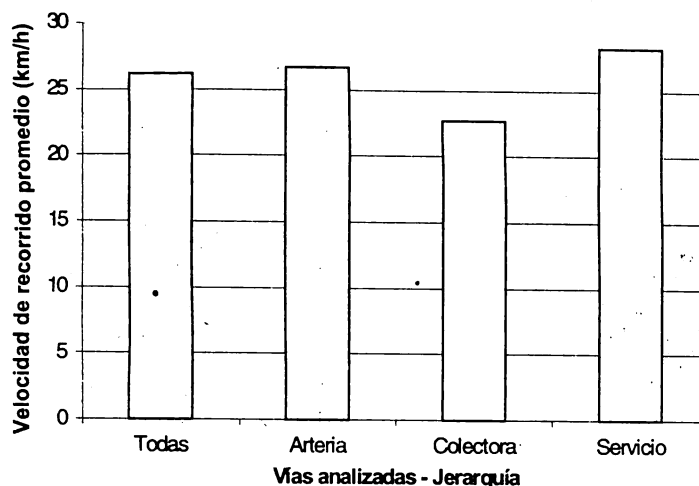


Figura 5. Velocidades de recorrido promedio

estudio, a una velocidad "flotante" ó promedio de la de todos los vehículos de la corriente, procurando que el número de vehículos que adelante sea igual al que lo rebasa.

En el vehículo empleado se instaló previamente el instrumento electrónico NITESTAR DMI de Numerics, que por medio de pulsos enviados desde los sensores ubicados en las ruedas, arroja los datos de distancia y tiempo de recorrido total para cada uno de los tramos.

Simultáneamente con la medida del tiempo y la distancia, se registra el flujo vehicular en las vías recorridas, ubicando aforadores en un punto intermedio de los tramos, que anotan el número de vehículos que circulan considerando su composición (autos, buses y camiones) en períodos de 5 ó 15 minutos (tiempo utilizado en Ingeniería de Tránsito para asociarlo al cálculo de capacidad e intensidad de flujo en vías urbanas); posteriormente estos datos se relacionan teniendo en cuenta para el vehículo "flotante", la fecha y la hora en que se pasa por el punto de control inicial de cada tramo y la hora en que se inicia el período de aforo durante los conteos.

Los horarios para la medición de las variables comprenden períodos pico y valle en un día laboral (martes, miércoles ó jueves), buscando determinar los comportamientos típicos de las variables.

Una vez definidos todos los parámetros del estudio, realizada una prueba piloto y efectuados los correctivos necesarios, se procedió a la obtención de los datos de campo haciendo el recorrido por las vías seleccionadas y los respectivos conteos.

Para el procesamiento de la información se hizo

la reducción de los valores de campo con el fin de establecer las bases de datos requeridas para su posterior análisis.

Al procesar la velocidad se consideró el volumen vehicular en el mismo momento en que fueron medidos, es decir, para ese mismo período de 5 ó 15 minutos, de esta forma se correlacionan la velocidad con el volumen vehicular expresando éste en términos de intensidad de flujo, es decir, sin considerar las variaciones del tráfico temporalmente.

Esta intensidad de flujo se obtiene con el volumen máximo de los períodos de 5 ó 15 minutos extrapolándolo a la hora completa multiplicando por 12 ó 4 respectivamente; luego para encontrar el volumen equivalente (ADE/h), que son los automóviles directos equivalentes para una hora; se utilizó un factor de equivalencia vehicular igual a 2.5 para buses y camiones.

#### 4 RESULTADOS

Se obtiene la velocidad para cada tramo de las vías recorridas para posteriormente correlacionarla con el volumen vehicular, en términos de volumen equivalente y el tipo de vía según su jerarquía.

Las velocidades en las vías estudiadas oscila entre 22 y 32 km/h, resultado que alarma ya que en especial las vías de mayor jerarquía deben proporcionar velocidades mayores. Se recomienda que dichas velocidades estén entre 40 y 60 km/h.

Igualmente se determinó para cada vía la velocidad promedio de recorrido, donde contrario a lo esperado, se obtuvo que a menor jerarquía, mayor es la

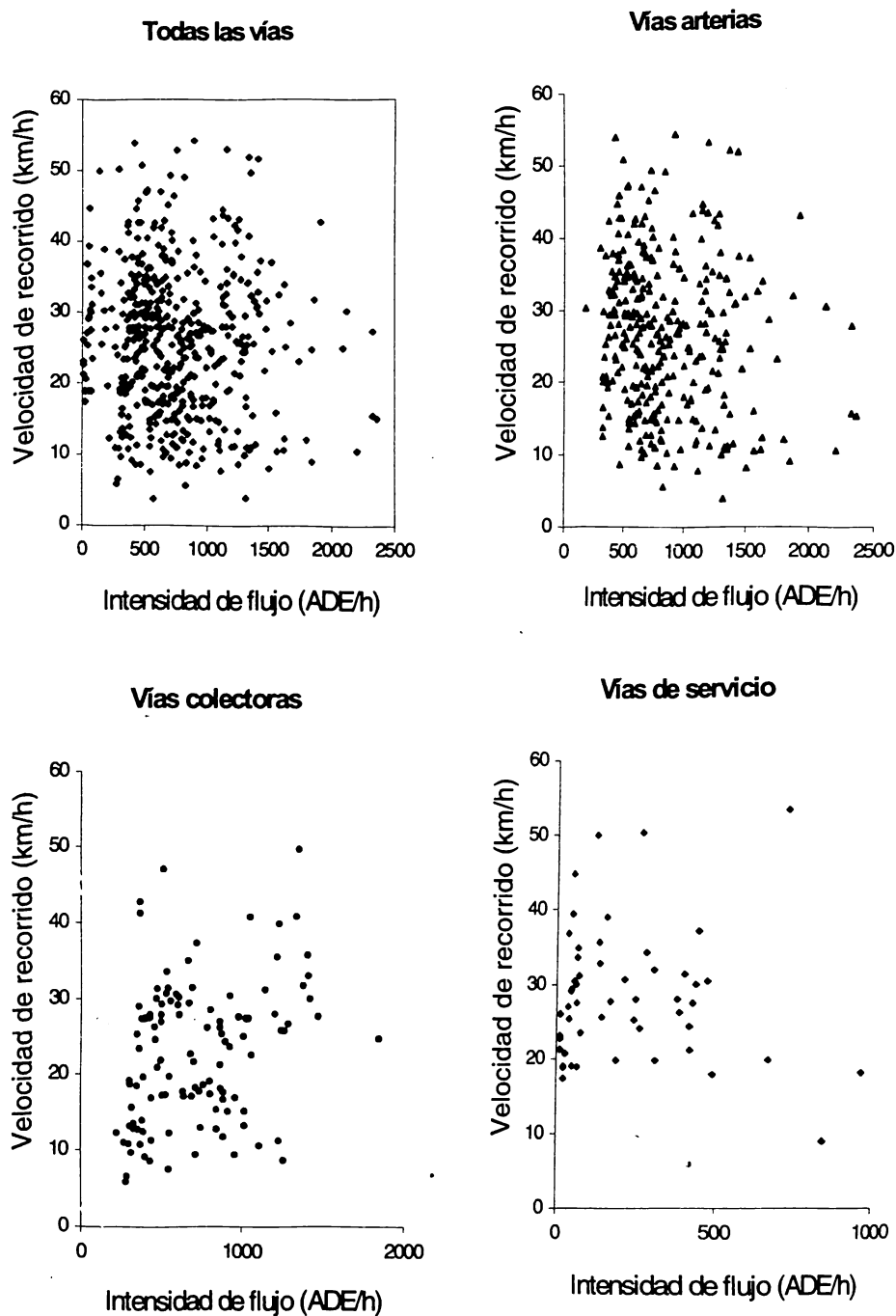


Figura 6. Relaciones Volumen - Velocidad

velocidad de recorrido, tal como puede apreciarse en la figura 5.

Analizando la velocidad mediante intervalos de clase se obtienen los resultados de la tabla 2, en la cual se reafirma la observación del aumento de la velocidad para la vía de menor jerarquía.

No es claro que a mayor jerarquía las vías posean velocidades de recorrido mas bajas, cuando se trata de que funcionen para velocidades más altas. Sin embargo, es lógico que a mayor jerarquía se obtengan los más altos volúmenes vehiculares. Esto indica que la operación de las vías no es adecuada.

Tabla 2. Intervalo de velocidades con mayor frecuencia

Vía	Intervalo (km/h)
Todas	27 - 32
Arteria	23 - 28
Colectora	26 - 32
De servicio	25 - 32

Para correlacionar las variables se elaboraron gráficos, ver figura 6, en los que se muestran por tipo de vía el comportamiento de las otras dos variables: Velocidad y Volumen Equivalente.

## 5 CONCLUSIONES

El análisis de la información obtenida no permitió encontrar relación matemática entre las variables, con lo cual por ahora queda descartada la obtención de un patrón que permita predecir con cierta aproximación el comportamiento de la velocidad con el volumen en una determinada vía urbana.

Se observó que a mayor jerarquía vial menor es la velocidad promedio de circulación, o velocidad de recorrido; este comportamiento indica una disfuncionalidad de las vías relacionada con los sistemas de control que en ellas existen y la falta de infraestructura. La jerarquización asignada a las vías es acorde al esquema vial y los volúmenes que manejan a nivel comparativo entre ellas, sin embargo si no se cuenta con la infraestructura adecuada para el tratamiento del transporte público colectivo como son los paraderos con bahías para el ascenso y descenso de pasajeros, no podrá lograrse un adecuado funcionamiento. La falta de esta infraestructura obliga a la detención en los carriles de circulación generando demoras y congestión para el transporte privado y en algunas ocasiones para el mismo transporte público.

Se recomienda para posteriores trabajos considerar un estudio de demoras en el cual se determinen sus magnitudes y causas con lo que se podrán definir con

mayor certeza los causantes de la disfuncionalidad de las vías y formular los correctivos.

Si no se cuenta con un equipo electrónico que agilice la toma de datos de campo, puede procederse a una toma manual de tiempos en la cual el observador que está en el vehículo, al pasar por el inicio del tramo pone en marcha el cronómetro y lo deja correr. Mientras recorre la vía va leyendo y anotando el tiempo acumulado que transcurre a medida que el vehículo va llegando a cada punto de control. Las distancias son medidas sobre planos.

## REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets*. AASHTO, Washington, D.C., 1042p., 1994.
- Box, P. y J. Oppenlander, *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*. Representaciones y servicios de ingeniería, México., 238p., 1985.
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J., *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. Ediciones Alfaomega, México, 517p., 1994.
- Mejía, Á. y Velásquez, D., *Análisis y diagnóstico preliminar del comportamiento vehicular de acuerdo con la velocidad de recorrido, volumen y jerarquía vial*. Trabajo final para optar al título de Especialistas en Vías y Transporte. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 230p., 1999.
- Municipio de Medellín, *Red de aforos de tránsito*. Ideografic Ltda., Medellín, 236p., 1997.
- Radelat, G., *Manual de ingeniería de tránsito*. The Reuben H. Donnelly, Chicago, 526p., 1964.
- Robusté, F., *Apunts de planificació del Transport*. Edicions UPC, Barcelona, 534p., 1994.
- Schwar, J. y Huarte, J., *Métodos estadísticos en ingeniería de tránsito*. Representaciones y servicios de ingeniería, Ohio, 147p., 1967.
- Vargas, A., *Jerarquización vial urbana*, documento, Medellín, 17p., 1996.