

Estudio de la circulación

Transporte por carretera

UdelaR - Facultad de Ingeniería

Emiliano Gómez Páez
egomezpaez@fing.edu.uy

31 de mayo de 2021

- 1 **Intensidad**
 - Definición y usos
 - Variación
 - Hora 30
 - Distribución entre carriles
 - Composición del tránsito
 - Mediciones en rutas nacionales
- 2 **Velocidad**
 - Definiciones
 - Distribución de velocidades
 - Percentil 85
 - Medidas
 - Factores que afectan la velocidad
- 3 **Densidad**
 - Definición
- 4 **Relaciones entre intensidad, velocidad y densidad**
 - Relación fundamental
 - Modelo de Greenshields
 - Otros modelos
 - Modelos vs realidad

1. Intensidad

Intensidad: número de vehículos que pasa a través de una sección fija de la carretera por unidad de tiempo. Las unidades más utilizadas son vehículos/hora y vehículos/día.

- 1 Planeación
 - Clasificación de redes
 - Modelos de asignación y distribución
 - Mantenimiento y mejoras en infraestructura
- 2 Proyecto
 - Diseño de nuevas carreteras
 - Aplicación de normas para nuevos proyectos
- 3 Ingeniería de tránsito
 - Análisis de capacidad
 - Caracterización de flujos vehiculares
 - Estudios de estacionamiento
- 4 Seguridad
 - Cálculo de índices de siniestralidad
 - Evaluación de mejoras
- 5 Investigación
- 6 Usos comerciales
 - Hoteles y restaurantes
 - Urbanismo

- **Tránsito anual (TA):** suma de todos los vehículos que circulan por una sección en un año.
- **Tránsito promedio diario:** suma de los vehículos que pasan en una sección durante varios días dividido la cantidad de días considerados. El más usual es el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) pero se utilizan también los promedios mensuales y semanales.

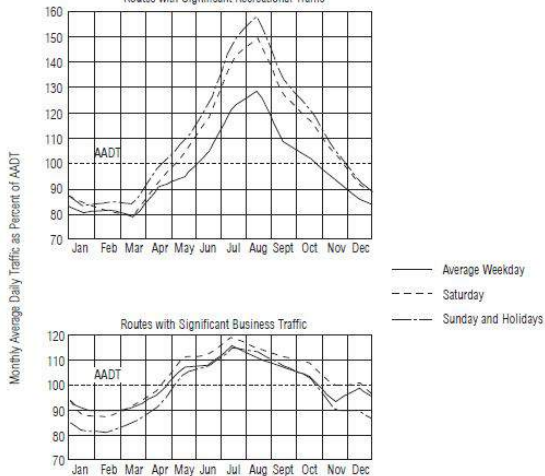
$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

- **Tránsito horario (TH):** suma de vehículos que circulan por una sección en una hora.
- **Tasas de flujo (q):** cantidad de vehículos que circula por una sección en un período menor a una hora (ej.: 5 min o 15 min). La unidad de medida usual es vph/h.

$$q = \text{cantidad} \times \frac{60}{\text{min contados}}$$

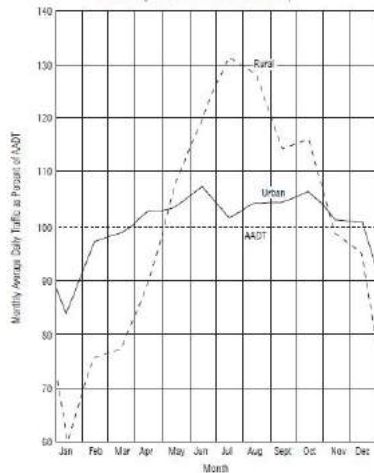
Intensidad: variación mensual

EXHIBIT 8-2. EXAMPLES OF MONTHLY TRAFFIC VOLUME VARIATIONS FOR A FREEWAY
Routes with Significant Recreational Traffic



Source: Minnesota Department of Transportation.

EXHIBIT 8-3. EXAMPLES OF MONTHLY TRAFFIC VOLUME VARIATIONS FOR THE SAME INTERSTATE HIGHWAY (RURAL AND URBAN SEGMENTS)



Source: Martini (2).

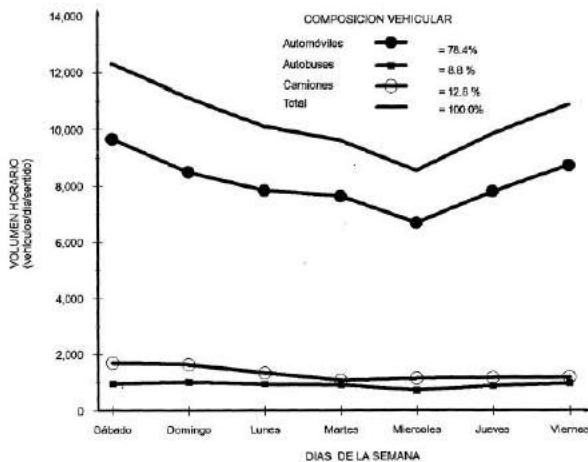
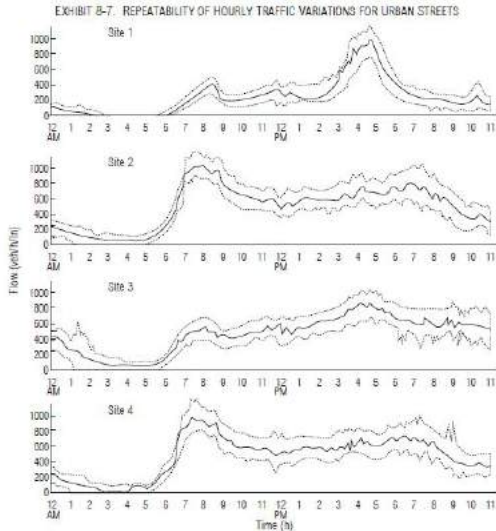


Figura 8.5 Variación diaria del volumen de tránsito, carretera de cuota México-Pachuca, México 1993



Note:
a. Sites 2 and 4 are one block apart on same street, in same direction.
b. All sites are two moving lanes in one direction.
Source: McShens and Crowley (4).

Volumen horario de proyecto (VHP): volumen de tránsito utilizado para diseño geométrico del proyecto de carretera, en especial la cantidad de carriles.

Hora 30: si se ordenan los volúmenes de tránsito de las 8760 horas del año de mayor a menor, el volumen de hora 30 es el correspondiente al de la hora que se encuentra en el 30avo lugar.

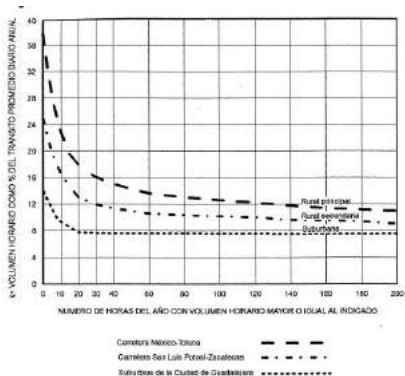


Figura 8.7 Relaciones entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual-TPDA (Ref. 16)

$$VHP = k \times TPDA$$

Donde:

- $k = 0,08$ en carreteras sub-urbanas
- $k = 0,12$ en carreteras rurales secundarias
- $k = 0,16$ en carreteras rurales primarias

- En las carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación se suele considerar el tránsito de tráfico total, es decir, la suma de los correspondientes a ambos sentidos. (Válido para tránsitos diarios)
- En carreteras con calzadas separadas, suele ser normal considerar independientemente el tránsito correspondientes a cada sentido.
- Dentro de ellas, el tránsito se reparte entre los carriles existentes. Este reparto depende de la tránsito total y de la composición del mismo.

- Además de conocer el número total de vehículos que pasan por una carretera, frecuentemente interesará saber qué tipo de vehículos circula por ella.
- La composición del tránsito se define mediante el porcentaje de vehículos que pertenecen a cada categoría.
- En general, la mayor parte del tránsito está formado por vehículos livianos. Dentro de los mismos, los más importantes son los coches (85 % al 90 % del grupo) y dentro de los vehículos pesados los camiones representan más del 80 % de este grupo.
- Naturalmente la composición del tránsito varía de unas carreteras a otras. En zonas urbanas, el porcentaje de vehículos ligeros es mayor que en carreteras, llegando en las calles céntricas de las grandes ciudades a ser superior al 90 %. En carreteras, en las proximidades de grandes ciudades, son frecuentes porcentajes de vehículos pesados entre el 15 % y el 20 %, mientras que lejos de centros urbanos, especialmente en itinerarios importantes, son frecuentes porcentajes de vehículos pesados entre el 30 % y el 40 %, y aún superiores en algún caso. Evidentemente, estas composiciones medias sufren variaciones a lo largo del año, del día, etc.

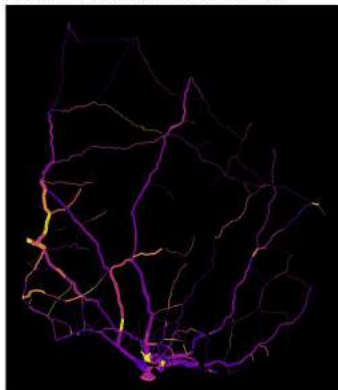
Intensidad: mediciones en rutas nacionales



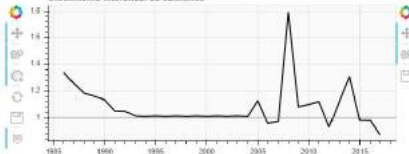
Colaboración con DINAPLO.

Año: 2011

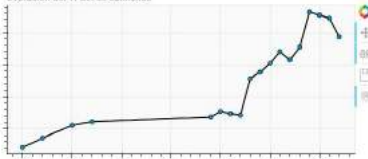
Evolución del TPDA de camiones frente al año de menor tránsito



Crecimiento Interanual de camiones



Evolución del TPDA de camiones



¿Qué mediciones se encuentran publicadas?

- Relevamiento estadístico de Tránsito del MTOP. ¡Geoportal!
- Conteos automáticos en la ciudad de Montevideo. ¡Catálogo de datos abiertos!

2. Velocidad

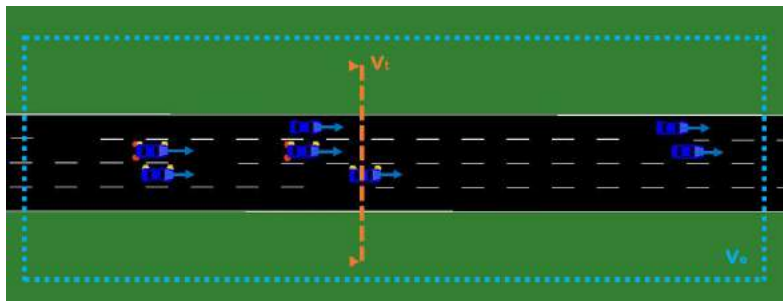
- **Velocidad en general:** relación entre espacio recorrido (d) y el tiempo que se tarda en recorrerlo (t).

$$v = \frac{d}{t}$$

- **Velocidad de punto:** es la velocidad de un vehículo al pasar por un determinado punto de una carretera o calle. También llamada *velocidad instantánea*.
- **Velocidad media temporal:** es la media aritmética de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que pasan por un punto fijo de una carretera o calle en un intervalo de tiempo seleccionado.

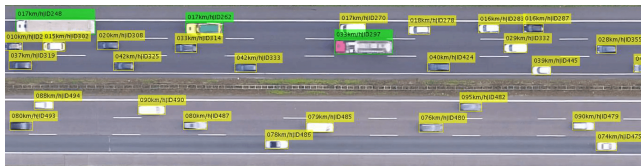
$$\hat{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$$

- **Velocidad media espacial:** es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos que se encuentran en un tramo de carretera en un instante. “Es la velocidad del flujo”.



- **Velocidad media temporal:** se marca un intervalo de tiempo y se mide en un punto de la carretera.
- **Velocidad media espacial:** se marca un segmento de la carretera y se mide en un instante de tiempo.

¿Cómo se mide?



Velocidad: media temporal vs media espacial

Velocidad media temporal



Velocidad media espacial y temporal



Velocidad: distribución de velocidades

Midiendo las velocidades de varios vehículos se pueden determinar las distribuciones de frecuencias de estas velocidades; las frecuencias obtenidas dependerán del método seguido para medir las distintas velocidades.

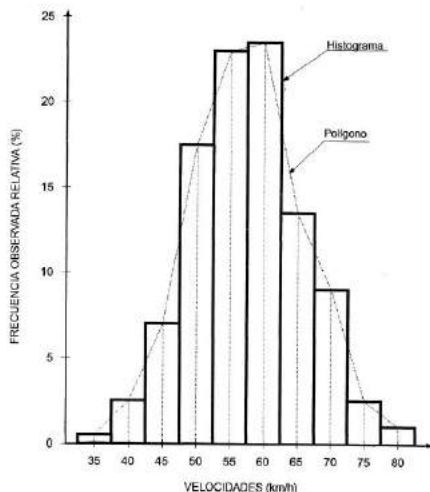
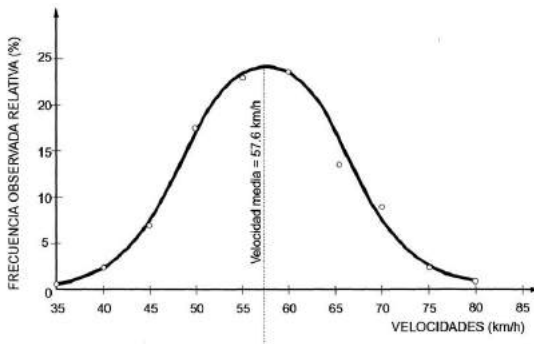


Figura 9.5 Histograma y polígono de frecuencias de velocidades de punto

Velocidad: distribución de velocidades

Para utilizar cómodamente las distribuciones de frecuencias conviene asimilarlas a distribuciones teóricas conocidas. Por razones prácticas se utilizan generalmente distribuciones normales, ya que si se consideran las velocidades de grupos homogéneos de vehículos (sólo camiones o sólo coches, por ejemplo), se observa que casi siempre las distribuciones obtenidas se adaptan muy bien a la distribución normal (o de Gauss). Esta distribución tiene el inconveniente de asignar una cierta probabilidad a velocidades negativas, pero salvo casos excepcionales, ésta es lo suficientemente pequeña para resultar despreciable a efectos prácticos.



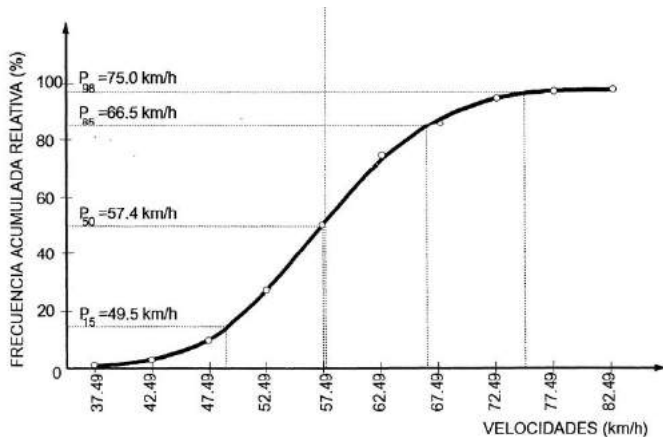
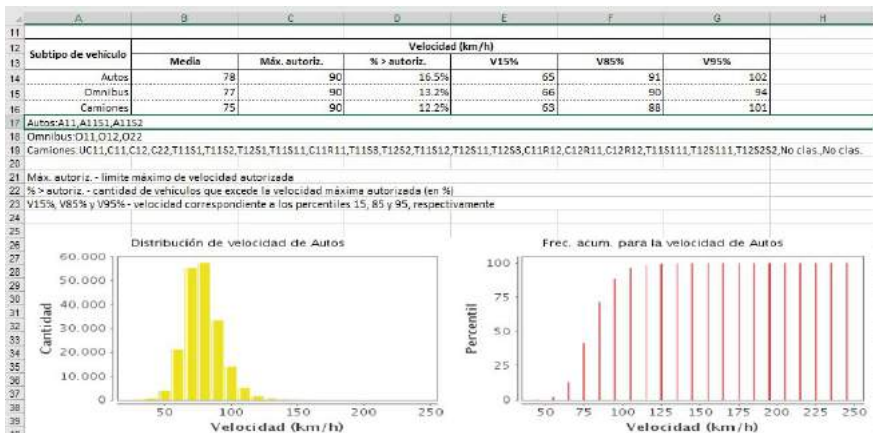


Figura 9.6 Curva de frecuencias observada y acumulada de velocidades de punto

- Para muchos estudios de trazado o de regulación de tráfico no es adecuado considerar la velocidad media como velocidad de proyecto porque el 50 % de los vehículos circulan a una velocidad superior: interesa utilizar una velocidad que sea sobrepasada por un número reducido de vehículos.
- Se utiliza frecuentemente la velocidad correspondiente al percentil 85 (velocidad que sólo es sobrepasada por el 15 % de los vehículos) de la distribución de los vehículos de turismo, que son los más rápidos.
- Esta velocidad de percentil 85 suele ser alrededor de un 20 % superior a la velocidad media.

Velocidad: medidas en Uruguay



¿Qué factores que afectan la velocidad?

¿Qué factores que afectan la velocidad?

- Tránsito
- Trazado
- Reglamentación
- Estado de la ruta
- Iluminación
- Climatología

3. Densidad

Densidad (D): es el cociente entre el número de vehículos (N) que se encuentran en un tramo de carretera o calle la distancia (d) del tramo.

$$D = \frac{N}{d}$$

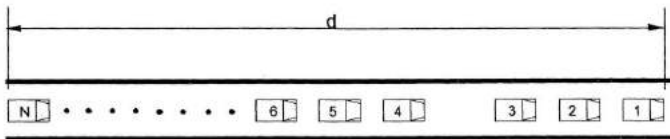


Figura 10.4 Densidad o concentración

- Evidentemente existe un valor máximo de la densidad de tráfico, que se obtiene cuando todos los vehículos están en fila, sin huecos entre ellos. Esta densidad máxima será igual a la inversa de la longitud media de los vehículos, por el número de carriles. En estas condiciones los vehículos estarán parados, ya que les resultaría imposible moverse incluso a pequeña velocidad sin golpearse unos a otros.
- La densidad de tráfico tiene un interés más teórico que práctico, ya que por resultar más sencilla la utilización de la intensidad y la velocidad, todos los procedimientos de estudio de la circulación se basan en estas últimas magnitudes.

4. Relaciones entre intensidad, velocidad y densidad

La ecuación fundamental del flujo vehicular vincula las tres variables estudiadas: la intensidad (I), la velocidad espacial (V_e) y la densidad (D).

$$I = D \times V_e$$

En unidades:

$$\frac{veh}{h} = \frac{veh}{km} \times \frac{km}{h}$$

Para poder utilizar esta ecuación es necesario conocer dos de las tres variables para despejar la tercera. Es habitual escribir una de las variables en función de otra.

Comúnmente se relaciona la velocidad y la densidad.

$$I = D \times V_e(D)$$

- Para la ingeniería de tránsito es importante optimizar la operación de los sistemas existentes y proyectar sistemas futuros eficientes.
- Conocer la relación entre las variables nos permitirá tomar acciones para mejorar el funcionamiento del sistema.



Greenshields (1935) llevó a cabo una de las primeras investigaciones sobre el comportamiento del flujo vehicular. En particular, estudió la relación entre la velocidad y la densidad.

$$V_e(D) = V_{libre} - V_{libre} \frac{D}{D_c}$$

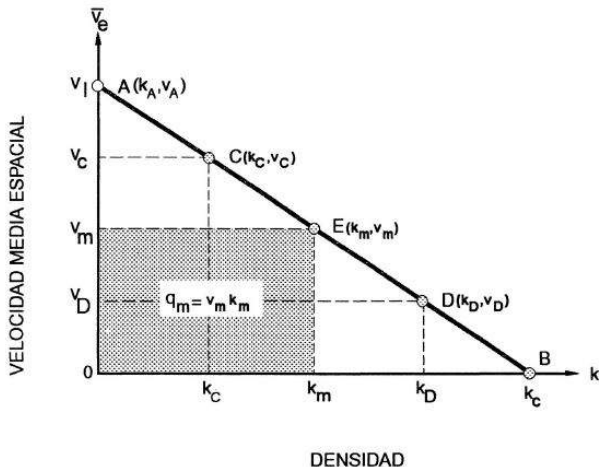
Donde:

- $V_e(D)$ es la velocidad media espacial
- V_{libre} es la velocidad a flujo libre
- D es la densidad
- D_c es la densidad en congestión.

$$I = D \times V_e(D)$$

$$V_e(D) = V_{libre} - V_{libre} \frac{D}{D_c} \quad I = D \times V_e(D)$$

¡OJO! Cambio de notación: intensidad (q) y densidad (k).



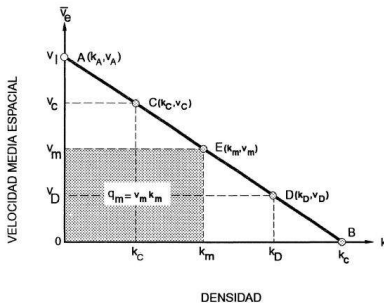


Figura 10.7 Relación lineal entre la velocidad y la densidad

El área máxima se da en el estado E lo que indica que el flujo máximo posible es $v_m k_m$.
Haciendo cuentas:

$$v_m = v_l/2$$

$$k_m = k_c/2$$

$$q_m = v_m k_m = v_l k_c/4$$

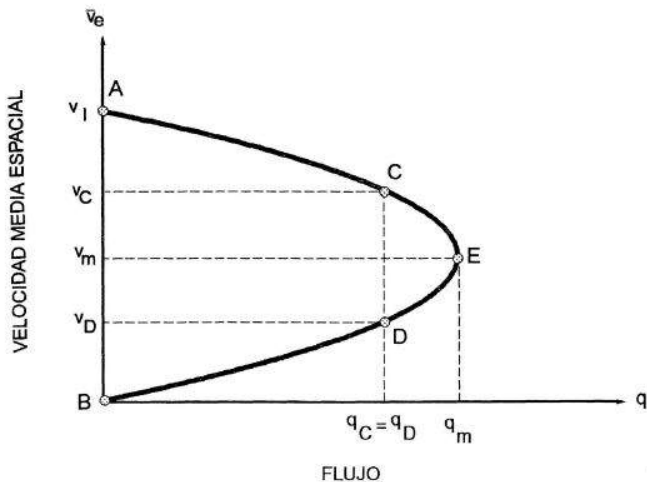


Figura 10.9 Relación parabólica entre la velocidad y el flujo

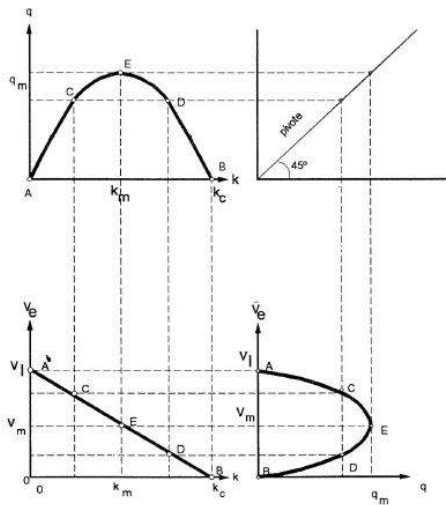


Figura 10.10 Diagrama fundamental del flujo vehicular

$$V_e = V_{libre} \times \ln\left(\frac{D_c}{D}\right)$$

$$I = D \times V_{libre} \times \ln\left(\frac{D_c}{D}\right)$$

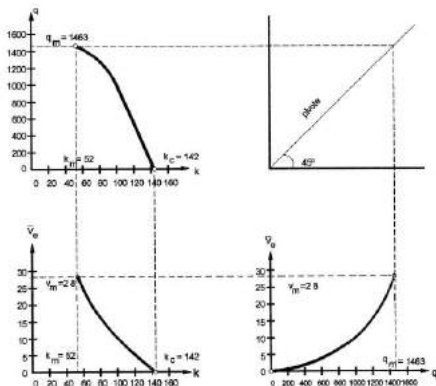


Figura 10.12 Modelo logarítmico del flujo vehicular

$$V_e = V_{libre} \times e^{-\frac{D}{D_m}}$$

$$I = D \times V_{libre} \times e^{-\frac{D}{D_m}}$$

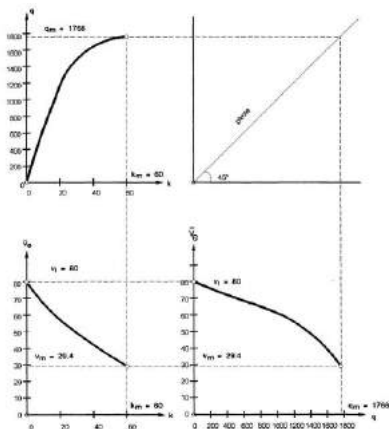
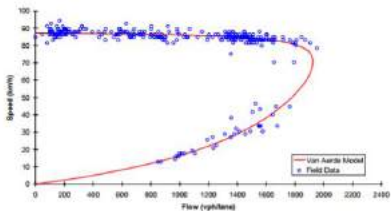
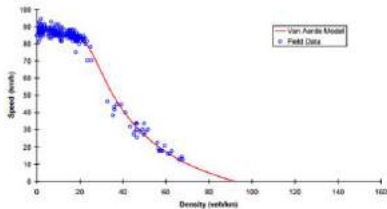


Figura 10.13 Modelo exponencial del flujo vehicular



■ Freeway I-4 Orlando



Relaciones: resultados de simulaciones

