

XV CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO

Título del trabajo:

**"VERIFICACION DE LA CURVA VOLUMEN-VELOCIDAD EN AUTOPISTAS UTILIZANDO UN MODELO DE MICROSIMULACION DE TRANSITO"**

Nombre y Apellido de los autores:

Roberto D. Agosta

Raúl F. González

María del Rosario Suppo Vegara

Pablo A. Cillo

Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Universidad Católica Argentina

Av. Alicia M. de Justo 1500, Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina - C1107AFD

Teléfono: 4349-0200 (int 2131)

Fax: 4349-0402

robertoagosta@alum.calberkeley.org

rgonzal@uca.edu.ar

charosuppo@yahoo.com.ar

pablocillo@gmail.com

Se agradece la colaboración de María Florencia Blousson y de Agustín G. Poblet

Resumen:

Partiendo de los datos recogidos en el terreno, basados en estudios efectuados desde 1940 acerca de la velocidad y el espaciamiento entre los vehículos, así como las relaciones entre el volumen de vehículos, su velocidad, y la densidad de tránsito, que fueron realizados en distintos caminos de los EEUU, se publicó en 1950 la primera edición del *Manual de Capacidad de Caminos (HCM – Highway Capacity Manual)* al cual le siguieron nuevas ediciones, siendo la última versión la correspondiente al año 2000. El manual presenta las relaciones y curvas de *volumen-velocidad* para el *Sistema de Trafico No Programado* correspondiente a los distintos tipos de vías, las cuales pueden ser de flujo ininterrumpido (como las autopistas) o de flujo interrumpido (como por ejemplo intersecciones semaforizadas o no semaforizadas, arterias urbanas). La curva de *volumen-velocidad* se describe a través de la ecuación fundamental del flujo de tránsito ( $q$  [flujo medio] =  $k$  [densidad media] \*  $u_s$  [velocidad media espacial]).

Las relaciones mencionadas responden a las *condiciones prevalecientes de calzada* (tipo de camino, ancho y cantidad de carriles, velocidad de diseño, características topográficas, otros), *tránsito* (tipo de vehículo, distribución de vehículos entre carriles y por sentido) y *control* (semáforos, señales de PARE, restricciones a los movimientos, otros) presentes en EEUU, pero no hacen referencia al tipo de comportamiento de los conductores. Se entiende por comportamiento de los conductores, las conductas y características de conducción, como ser el grado de agresividad al circular e interactuar con el resto de los usuarios, la reacción ante las señales semaforicas, el modo de realizar el cambio de carril, entre otras. Es evidente que estas características difieren según el tipo de población, condiciones climáticas y de control, siendo éstas únicas para cada situación que se analice.

En el presente trabajo tiene por objetivo verificar la curva *volumen-capacidad* a las condiciones de circulación en una autopista en la Argentina, mediante el procedimiento propuesto por el Manual de Capacidad (HCM) y mediante un modelo de microsimulación; para finalmente encontrar la *Capacidad* y los distintos *Niveles de Servicio*.

La metodología consiste en la construcción de la curva real *volumen-capacidad* para las condiciones prevalecientes de calzada, tránsito y control en una sección de autopista conocida, e identificación de los parámetros que definen el comportamiento de los conductores. En base a estos datos, se compara la curva real con la dada en el Manual de Capacidad y con la obtenida mediante el modelo de simulación microscópico VISSIM.

## **1 INTRODUCCION**

Los modelos matemáticos empleados en transporte son de dos tipos: modelos macroscópicos de planeamiento estratégico orientados al modelado de flujos, a nivel tanto regional como urbano, y modelos microscópicos de tránsito, basados en las entidades vehiculares mismas. Los primeros poseen base macroeconómica y consideran la interacción entre la oferta y la demanda de transporte, mientras que los segundos reproducen las características operativas de la infraestructura y de las entidades de flujo (automóviles, trenes, etc.) de los sistemas.

### **1.1 Breve reseña histórica de los modelos de microsimulación de tránsito**

Los primeros esfuerzos en simulación de tránsito datan de hace 50 años, pero a partir de 1980 en los Estados Unidos, la Federal Highway Administration, organismo de la Administración Federal de Caminos e Investigación del citado país, publica el NETSIM (NETwork SIMulation model), comienza entonces la difusión masiva de estas herramientas para el estudio de los problemas de tránsito. La primera versión de este programa es para mainframe, que permite el procesamiento de una red de 160 links, 99 nodos, y un total de 1200 vehículos. El modelo está compuesto de tres módulos: pre procesador, el simulador y el post procesador. El programa está escrito en Fortran y el sistema de ingreso de datos es por tarjetas (cards) perforadas.

Más adelante se dispone de una versión para PC (microcomputadoras) y aumenta su capacidad de simulación. A final de los 90 aparece la versión bajo windows y adopta técnicas de usuario de autocad o GIS.

Por su parte la escuela europea comienza su desarrollo perfeccionando los algoritmos de simulación, es así que, en la Universidad de Karlsruhe, Alemania durante la primera parte de los años 70, el Prof. Dr. Ing. Rainer Wiedemann presenta su modelo teórico de "car following", luego en 1980 aparece el primer módulo del denominado VISSIM (Verkehr in Städten SIMulation), el mismo es un modelo de simulación microscópico, paso a paso y basado en el comportamiento del conductor desarrollado para analizar el rango total de funcionamiento en calzada y operación del transporte público. Este modelo puede integrar redes de calzadas con tránsito en general, ómnibus, ferrocarriles, camiones, peatones y ciclistas.

En esta experiencia se aplicó la versión 5.10 de este software. El mismo contiene dos componentes primarios: el simulador y el generador del estado de los semáforos. El simulador genera tránsito y es donde el usuario gráficamente construye la red. El usuario comienza importando una foto aérea o dibujo esquemático del área de estudio dentro del simulador. A partir de allí el programa permite “dibujar” la red y aplicar los atributos (ancho de carriles, zonas de velocidad, reglas de prioridad, etc).

El generador de estado de los semáforos permite al usuario incorporar la lógica de los controles semaforicos con tiempos prefijados, actuados, adaptativos, prioridad de tránsito.

En conclusión los modelos de microsimulación de tránsito han seguido un desarrollo en el modelado de situaciones reales por más de 25 años, constituyen una herramienta valiosa para el estudio actual y futuro de los problemas de la Ingeniería de Tránsito. A través de la animación se puede hacer la verificación de programas de coordinación semaforica, longitudes de dársenas de giro a la izquierda, ordenamiento vehicular carriles exclusivos, flujos de tránsito en intersecciones, impacto del estacionamiento y/o maniobras prohibidas, estimación de emisión de polucionantes, traslado de paradas de colectivos, cambios de mano de circulación, desvíos de obra.

## **1.2 Seguimiento de vehículo**

El software utilizado en este trabajo, el VISSIM usa el modelo del comportamiento psicofísico del conductor desarrollado por Widemann (1974). Los vehículos se siguen uno a otro en un proceso de oscilación. Cuando un vehículo más rápido se acerca a un vehículo más lento en un solo carril, se ajusta su separación. El punto de acción o de reacción consciente depende de la diferencia de velocidad, la distancia y el comportamiento del conductor. En los caminos multi-carriles se verifica que los vehículos manejan cambiando de carriles. Si ese es el caso, ellos verifican la posibilidad de encontrar los espacios aceptables entre vehículos en los carriles adyacentes. El seguimiento de vehículos y el cambio de carril forman un conjunto integrado en el modelo de tránsito.

El movimiento longitudinal de los vehículos está influenciado por los vehículos que viajan al frente en el mismo carril. Es por esto que el modelo es llamado el “modelo del seguimiento de vehículos”. Un conductor está directamente influenciado por el primer vehículo que viaja al frente suyo ya que el segundo vehículo tendrá alrededor del doble de la distancia para

una decisión; por lo tanto este modelo se concentra en la influencia del primer vehículo que está al frente, incluyendo la opción de frenado.

La influencia del movimiento está caracterizado por la percepción del movimiento relativo del vehículo del frente, cambios en la distancia y en la diferencia de velocidades. Estos cambios son percibidos si el impulso físico excede un cierto valor mínimo, llamado umbral. La percepción de los cambios depende de que tan rápido la imagen del vehículo del frente cambie, la cual es una función de la diferencia de velocidades y distancias.

Estas medidas e investigaciones fueron realizadas por Todosiev (1963), Miechaels (1965) y Hoefs (1972); con el propósito de encontrar los límites de la percepción humana en el proceso de seguimiento de vehículos. Esta investigación forma la base del “modelo de seguimiento de vehículo” desarrollado por Wiedemann (1974).

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Definición del área de estudio**

El área de estudio comprende una zona del partido de Vicente López más precisamente un tramo del Acceso Norte a la Capital Federal, popularmente conocida como “Panamericana” entre la Av. Gral Paz y la Av. Bernabé Márquez.

La configuración del camino es una autopista de 12 carriles totales (6 carriles por sentido), colectoras a ambos laterales de 2 carriles y calles frentistas de 2 carriles.

La sección de estudio es la denominada “sección básica de autopista” según la metodología del Highway Capacity Manual (HCM), comprende un sector de 1,85 km de longitud sin entradas o salidas entre los cruces a distinto nivel con las calles Hipólito Yrigoyen y San Lorenzo, con sentido de Capital hacia Provincia.

El ancho de los carriles es de 3,50m con banquina derecha de 2,75 m y banquina izquierda de 0,60 m con separador central tipo barrera “new jersey”.

Existen contadores de tránsito ubicados en la calzada principal y en la colectoras sentido ascendente (hacia Provincia), a la altura de la calle Pelliza.

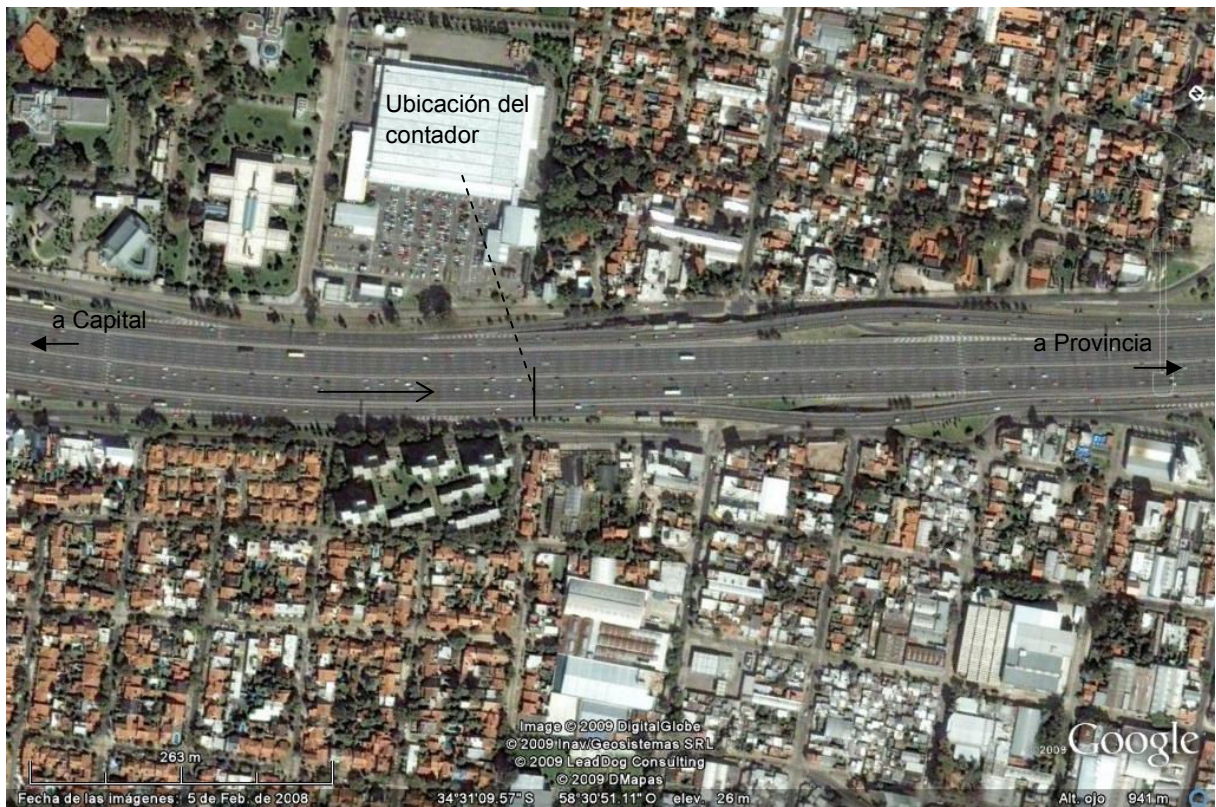


Figura 1. Vista de la sección de estudio

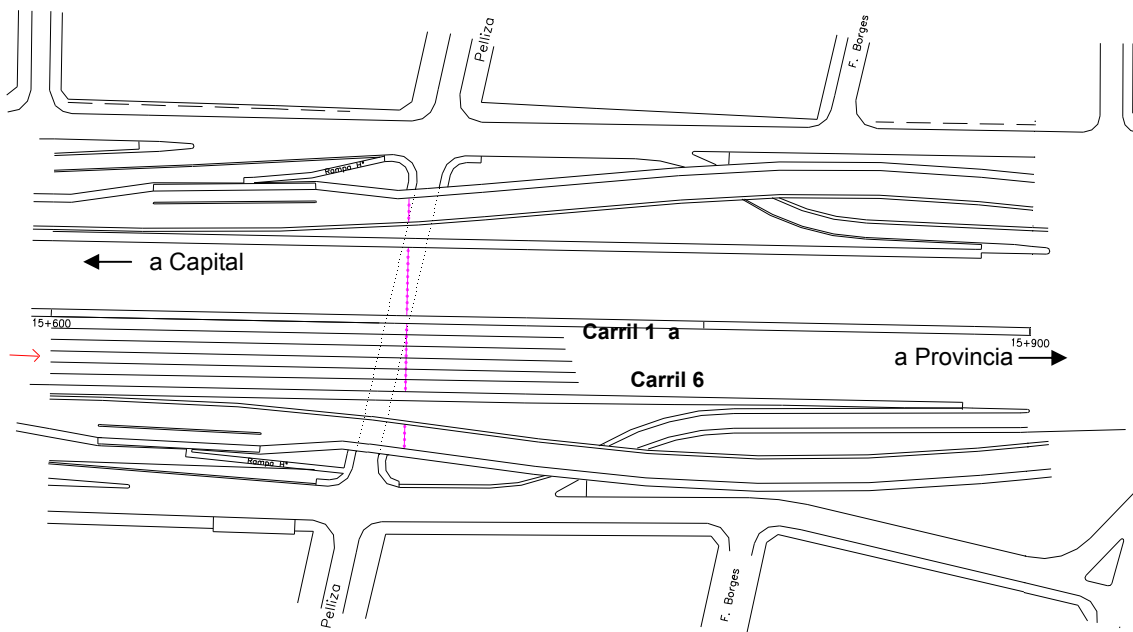


Figura 2. Ubicación del contador a la altura de la Calle Pelliza

## 2.2 Búsqueda de la información

Se dispuso de la información de los contadores citados resultando una serie de datos hora por hora para un período de 12 meses, desde el 1 de febrero de 2005 hasta el 8 de abril de 2006 en cada uno de los 6 carriles de la calzada principal sentido ascendente y en los dos carriles de la colectora de igual sentido. Los contadores ubicados en cada carril son de tipo espira y permiten registrar la cantidad de vehículos clasificándolos por su longitud y velocidad.

Es así que cada contador registra las mediciones en siete rangos de velocidades:

- ✓ V1: hasta 20 Km/h
- ✓ V2: hasta 40 Km/h
- ✓ V3: hasta 60 Km/h
- ✓ V4: hasta 80 Km/h
- ✓ V5: hasta 100 Km/h
- ✓ V6: hasta 120 Km/h
- ✓ V7: más de 120 Km/h

A su vez clasifica a los vehículos en cinco categorías según su longitud:

- ✓ C1: Longitudes entre 0,00 y 3,00 m
- ✓ C2: Longitudes entre 3,00 y 5,00 m
- ✓ C3: Longitudes entre 5,00 y 7,00 m
- ✓ C4: Longitudes entre 7,00 y 12,00 m
- ✓ C5: Longitudes entre 12,00 y 50,00 m

Los carriles están numerados del 1 al 8, siendo el número 1 el carril rápido, el más cercano al separador central y el número 6 el carril lento, el más cercano a banquina derecha. Los carriles 7 y 8 pertenecen a la colectora.

Entonces se dispone de matrices de 10.275 registros citados para cada uno de los 8 contadores.

### 2.3 Procesamiento de datos

Se procedió a ordenar los datos y aquí comenzó el primer criterio para poder compararlos según la metodología expuesta en el HCM, ya que el objetivo final de este trabajo es verificar la curva volumen – velocidad para una autopista argentina.

Se encontró la velocidad media de los vehículos en cada carril, definiendo previamente por rango de la medición, un valor medio según el siguiente detalle:

- ✓ Para V1: 10 Km/h.
- ✓ Para V2: 30 Km/h
- ✓ Para V3: 50 Km/h
- ✓ Para V4: 70 Km/h
- ✓ Para V5: 90 Km/h
- ✓ Para V6: 110 Km/h
- ✓ Para V7: 130 Km/h

Encontrando la velocidad media ponderada en cada carril para todos los vehículos según la siguiente expresión:

$$V_j = \frac{\sum_1^6 V_{ij} \times C_{ij}}{\sum_1^6 C_{ij}}$$

Siendo:

$V_j$  : Velocidad media de los vehículos en el carril j en Km/h

$V_{ij}$  : Velocidad media de tipo de vehículo i en el carril j

$C_{ij}$  : Cantidad de vehículos tipo i en el carril j



Por otra parte se asume que las categorías de los vehículos corresponden a:

$C_1$ : motos,  $C_2$ : automóviles,  $C_3$ : camionetas y combis,  $C_4$  ómnibus y camiones chicos y medianos,  $C_5$ : camiones grandes.

Entonces se calcula el porcentaje de vehículos pesados ( $p_T$ ) como:

$$p_T = \frac{C_4 + C_5}{\sum_1^6 C_i}$$

Con este valor se calcula el factor de vehículos pesados ( $f_{HV}$ ) según metodología del HCM como:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + p_T(E_T - 1)} \quad (1)$$

Siendo

$E_T$ : Equivalente en automóviles para terreno llano igual a 1,5 para terreno llano, según tabla 23-8. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS ON EXTENDED FREEWAY SEGMENTS del HCM.

Entonces el volumen horario equivalente será igual a

$$V_J = \frac{\sum_1^6 C_{ij}}{FHP \times f_{HV} \times f_P}$$

Siendo:

$V_J$ : Volumen horario equivalente en Automóviles/hora/carril

$FHP$ : Factor de Hora pico igual a 0,92, tomado del HCM

$f_{HV}$ : Según expresión (1)

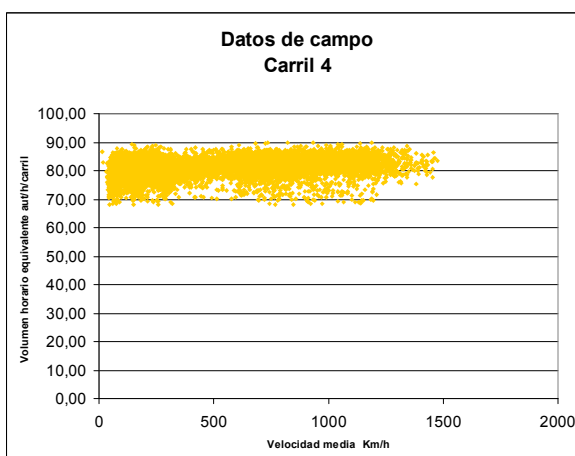
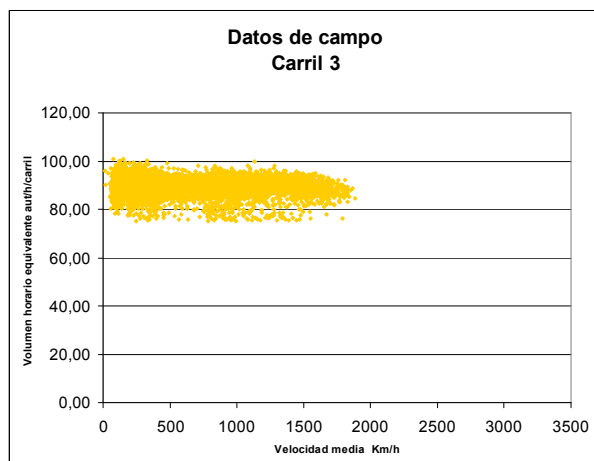
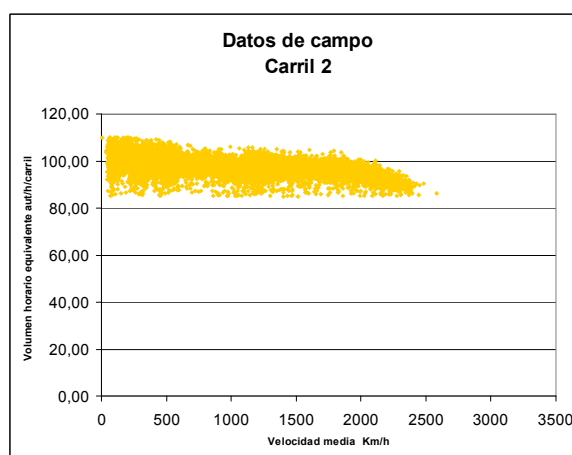
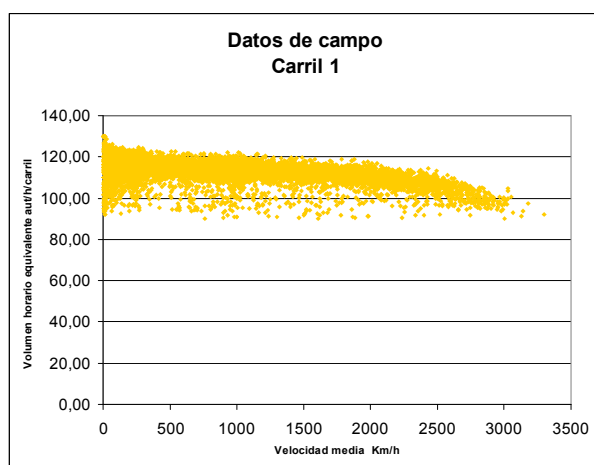
$f_P$ : Factor por tipo de conductores igual a 1, se consideran sólo días hábiles.

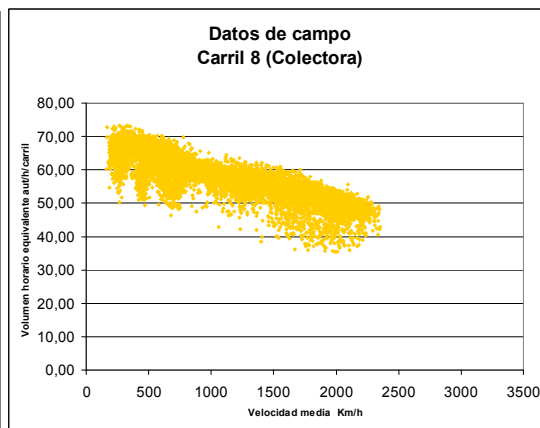
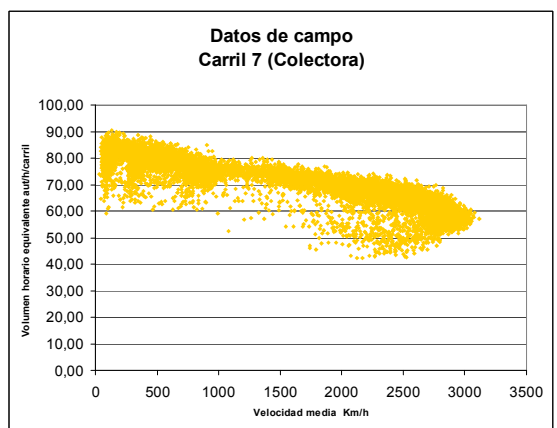
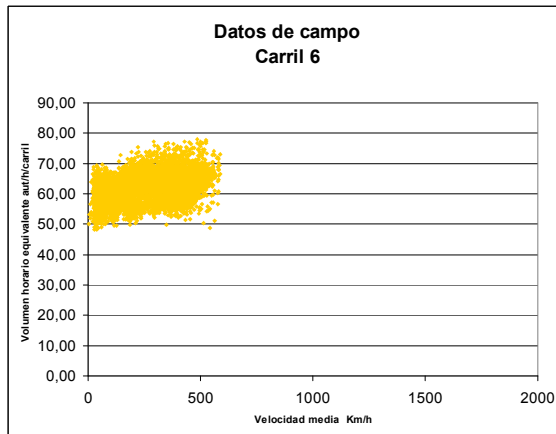
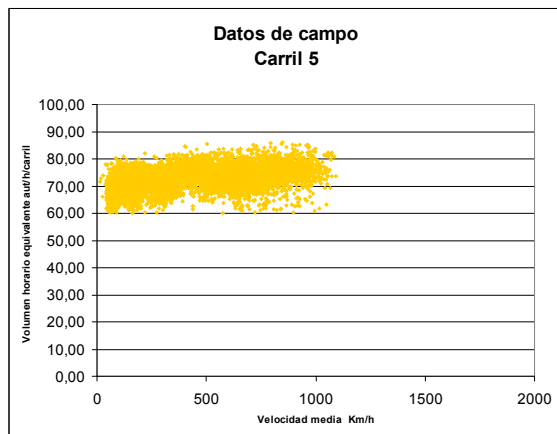
## 2.4 Ajuste con datos de campo

En un primer intento se busco una correlación entre la información elaborada a partir de los datos de campo.

Es decir se utilizaron todos los registros disponibles por carril, considerando los 7 días de la semana a fin considerar todo el espectro de flujos y velocidades.

Como resultado de este análisis se obtuvieron los siguientes gráficos:





El resultado de este análisis permite inferir la diferencia de las velocidades de flujo libre (VFL) en los distintos carriles de la autopista, es decir aquella velocidad media donde los volúmenes horarios equivalentes son bajos a moderados, con valores menores de 1300 a 1750 aut/h/carril.

En los carriles rápidos 1, 2 y 3 se llega a VFL de 114, 100 y 90 Km/h. En los carriles más lentos 4, 5 y 6 se obtienen VFL de 80, 70, 60 Km/h. Se hace notar que en la colectora se obtiene una mejor correlación de valores entre velocidades y flujos que se explicaría por el guiado o confinamiento de los vehículos en los dos carriles en igual sentido de la misma.

Respecto a la capacidad se observan valores cercanos a los 3000 y 2500 aut/h/carril en los carriles rápidos 1 y 2 y en carriles de la colectora 7 y 8.

## 2.5 Predicción del HCM

El Manual de Capacidad (HCM), incorpora en su metodología para estimar los niveles de servicio en los segmentos básicos de autopistas, la siguiente curva:

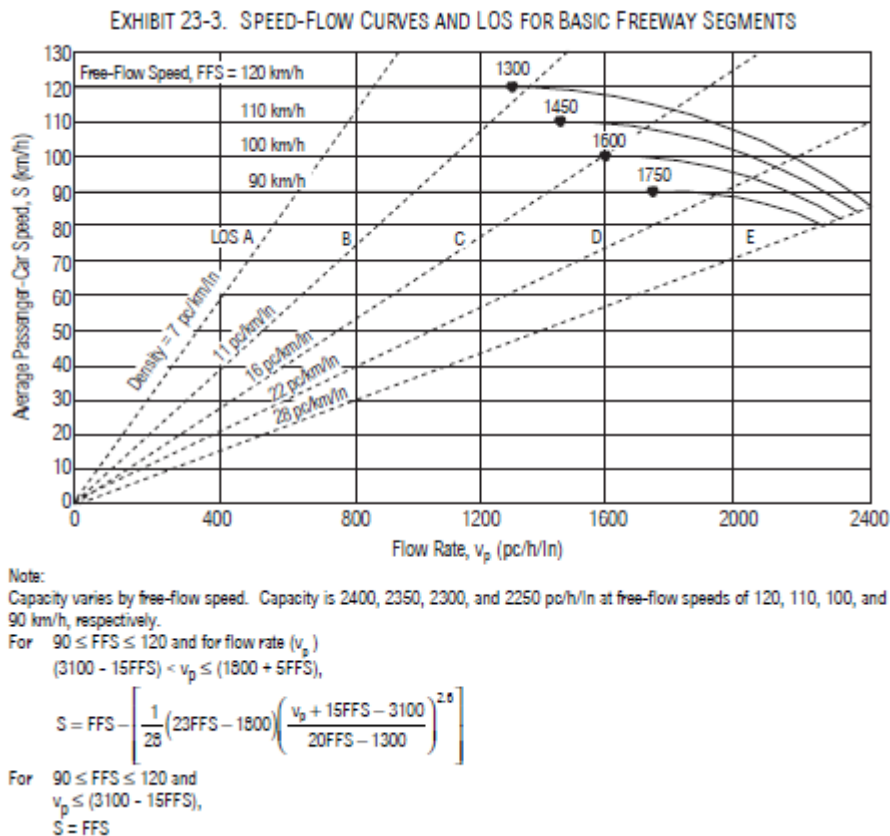


Figura 3 Relaciones entre Velocidad y Flujo (Volumen horario equivalente)

Fuente: Highway Capacity Manual 2000 Chapter 23 – Basic Freeway Segments, page 23-4

Se puede observar que el modelo del manual predice las relaciones velocidad – flujo para un rango de velocidades de flujo libre (VFL ó FFS) entre 120 a 90 Km/h e indica los rangos de flujos donde se cumple la fórmula de la curva velocidad (S) en función del volumen horario equivalente ( $v_p$ ).

Para realizar el análisis en este trabajo entonces se estudiarán los carriles 1, 2 y 3 de la autopista en donde encontramos VFL mayor o igual a 90 Km/h.

## **2.6 Implementación del modelo de microsimulación**

Una de las cuestiones implicadas en la utilización de modelos de simulación microscópica es la variación en los resultados de cada corrida de simulación. Como parte del estudio se investigan las variaciones en el desempeño generadas por el modelo de microsimulación utilizado VISSIM. El estudio se centra en la estimación de la capacidad y la velocidad en un segmento básico de autopista, y su comparación con las estimaciones del HCM.

Con los avances de la tecnología informática, muchos modelos sofisticados de simulación estocástica microscópica se han desarrollado en el ámbito de la ingeniería de transporte. La mejora de las interfaces de usuario ha reducido significativamente el esfuerzo necesario para interpretar los resultados de los modelos de simulación.

Como resultado, cada vez se usan más los modelos de simulación microscópica para analizar problemas de transporte complejos.

La facilidad de uso de los modelos de simulación también representa una desventaja, ya que los usuarios no experimentados desconocen las posibles variaciones en la salida de los resultados, que se debe a la naturaleza estocástica de los modelos.

Un aspecto importante de la simulación estocástica es que cada simulación produce resultados diferentes, dependiendo de la semilla de simulación que se use. Por lo tanto, es importante comprender qué factores contribuyen a las variaciones. Es uno de los propósitos examinar las condiciones que afectan a la variabilidad.

En este estudio se han comparado los resultados del modelo de simulación de tráfico con los del Manual de Capacidad (HCM).

Los resultados de modelos de simulación se basan en los valores medios de un número arbitrario de corridas.

A diferencia de los modelos deterministas de análisis, los modelos de simulación son impulsados por las muestras de variables aleatorias de distribuciones de probabilidad. Estas variables aleatorias pueden tener grandes variaciones. Como resultado, estas estimaciones podrían, en una simulación con una semilla aleatoria definida, diferir mucho en cada corrida del modelo.

Son varios los factores que pueden afectar las variaciones. En general, la variación puede ser reducida mediante la aplicación de un largo período de simulación mediante el aumento de la cantidad de corridas.

Debido a las variaciones en los resultados de las simulaciones, deben efectuarse múltiples corridas a fin de proporcionar una estimación precisa sobre las verdaderas medidas de rendimiento. Sobre la base de la teoría de la probabilidad y estadística, para estimar la cantidad de corridas necesarias puede utilizarse la siguiente ecuación para proporcionar una estimación de la media y con un intervalo de confianza y un margen de error determinado.

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right)^2$$

Donde

$n$  = cantidad de corridas requeridas

$\sigma$  = desvío estándar

$Z_{\alpha/2}$  = valor límite para intervalo de percentil de confianza  $100(1-\alpha)$ . Con intervalo de confianza de 95%,  $Z_{\alpha/2} = 1.96$

$E$  = rango de error admitido.

Utilizando la ecuación anterior, el número de corridas se calculó con un intervalo de confianza del 95% y un 10% de margen de error. Un 10% de margen de error se considera aceptable para la práctica general, ya que proporciona un margen de precisión suficiente.

### **2. 6 .1 Calibración microscópica del modelo**

Debido a que el comportamiento de seguimiento de vehículo es el núcleo de la modelación microscópica con VISSIM, la mayoría de los parámetros del modelo influyen en la dinámica longitudinal de los vehículos. La calibración de estos parámetros requiere mediciones a nivel individual de los vehículos, es decir, datos del intervalo o "headway", los umbrales de percepción y características del conductor. Estos datos se adoptaron en base a estudios previos realizados.

Además de los parámetros de seguimiento de vehículo, es importante para la calidad de la simulación el “tiempo de paso” que se utilice. Un menor tiempo de paso permite un modelado más realista de la aceleración. Si se utiliza un tiempo de paso de un segundo, los conductores se ven obligados a una reacción violenta en algunas situaciones a fin de compensar el aumento del tiempo de reacción.

Es muy dificultoso y costoso recolectar datos de medidas para verificar la influencia del tiempo de paso en la simulación, sin embargo se tiene conciencia de la importancia de misma, y se toman los valores recomendados. Con el fin de garantizar un flujo estable de tráfico por encima de los 2.000 vehículos/hora en la simulación, es necesaria una resolución temporal mayor a un segundo. En la simulación se adoptó un tiempo de paso de aproximadamente 0,2 segundos.

Sin embargo, es muy necesaria la adaptación del modelo a los diferentes estilos de conducción, calibrados para proporcionar diferentes tipos de parámetros que por defecto son proporcionados por el modelo. La comprobación de la calibración de los parámetros de seguimiento de vehículo para una determinada situación se realiza mediante la validación de los resultados de la simulación en un nivel macroscópico.

## **2.6.2 Validación macroscópica del modelo**

El modelo de seguimiento de vehículo del VISSIM fue diseñado originalmente para modelar el comportamiento del conductor en las autopistas alemanas. En las autopistas alemanas no hay límite de velocidad, pero en ciertas partes de la red, especialmente en las muy congestionadas, se establece un límite de velocidad de 120 km/h. Como resultado del comportamiento de conducción alemán, el caudal máximo en un solo carril es de 1.800 veh/h. Para producir los resultados que se muestran en los próximos dos diagramas, los parámetros se establecen en los valores estándar deducidos de mediciones en autopistas. La distribución de velocidades deseada fue tomada de un estudio realizado para la Agencia Alemana de Carreteras<sup>1</sup>. El paso de tiempo de simulación se fijó en 0.2 segundos. En la figura 4 se muestra la relación Velocidad – Flujo con los valores medidos.

---

<sup>1</sup> Wiedemann, R., Vortisch, P. (1994): *Einfluß von Verkehrssituation und Verkehrsregelung auf das Fahrverhalten auf Bundesautobahnen*. Research report BASt 2.9362 of the German Highway Agency (BASt), Bergisch Gladbach, Germany, May 1994

Los datos de la medición se toman de un estudio realizado en la Universidad de Bochum <sup>2</sup>, proporcionados en el estudio de validación <sup>3</sup>.

Para la autopista de dos carriles observada, el modelo de simulación VISSIM es capaz de reproducir tanto las velocidades en diferentes volúmenes y la capacidad a cerca de 3.500 veh/h, lo que es un valor típico en autopistas alemanas.

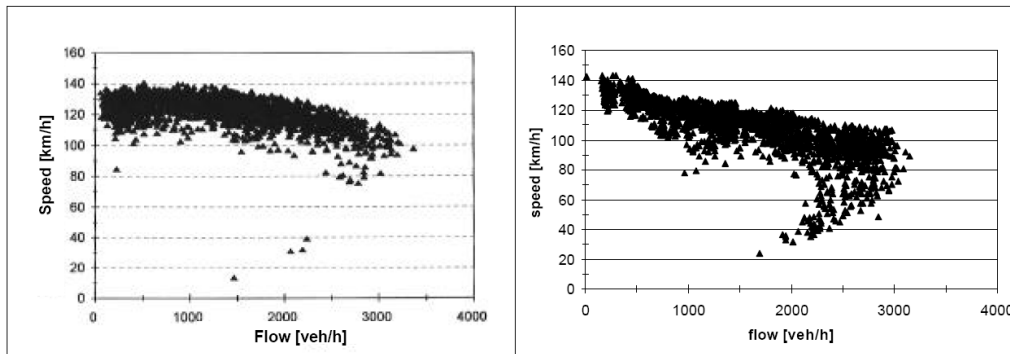


Figura 4 Relación Flujo-Velocidad: a la derecha, los valores medidos, y a la izquierda los resultados de la simulación.

El comportamiento de conducción en autopistas argentinas es diferente a la circulación por las autopistas alemanas. En primer lugar, hay un límite de velocidad y en segundo lugar, el carril de uso rápido no está tan estrictamente regulado. El resultado de medición de la capacidad es mayor. Con el fin de modelar el estilo de conducción de la autopista en Buenos Aires para altos volúmenes de tránsito, se ajustan los siguientes parámetros: las distancias de seguridad se configuran más pequeñas y las oscilaciones se establecen menos aleatorias. Combinado esto con un tiempo de paso de simulación de 0,2 segundos, puede alcanzarse una capacidad de carril de hasta 2.700 vehículos por hora.

En los siguientes gráficos se comparan los resultados de la simulación con los datos de la medición y los predichos por el HCM en los tres carriles particulares de estudio.

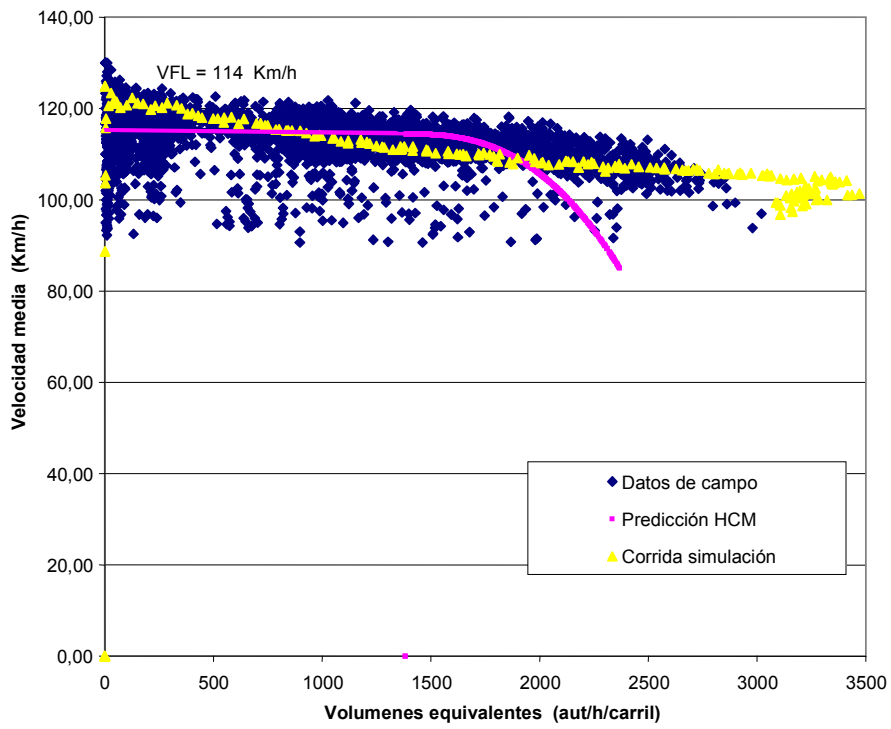
---

<sup>2</sup> Brilon, W., Ponzlet, M. (1995): *Auswirkungen von zeitlich veränderlichen Leistungsfähigkeiten*. Research report FE 01.127 G90E of the German Department of Transport, 1995

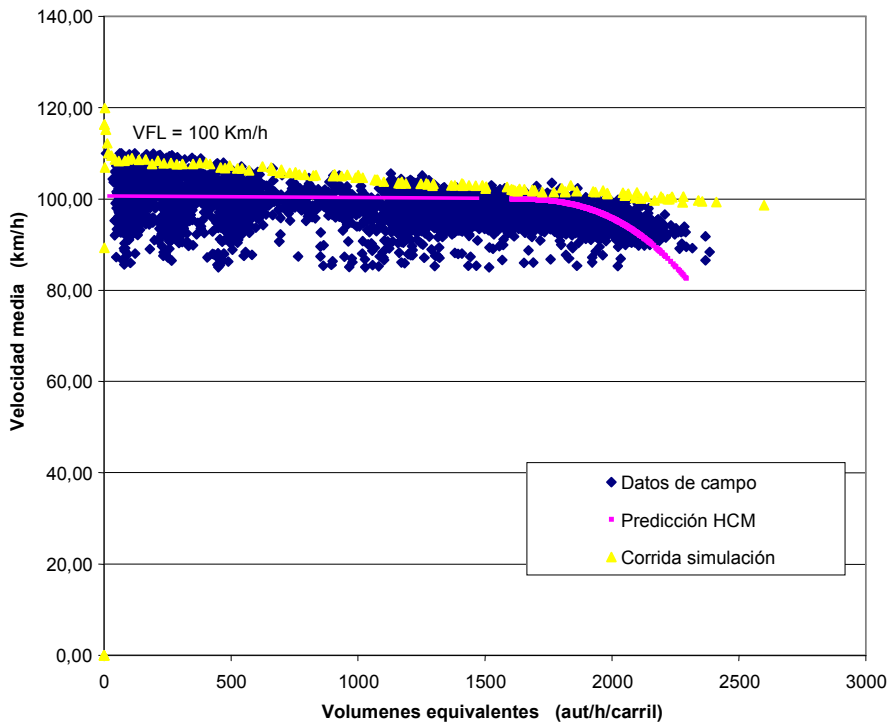
<sup>3</sup> Fellendorf., Vortisch, P. (2005): *Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations.*, May 2005.



Carril 1



Carril 2



### Carril 3

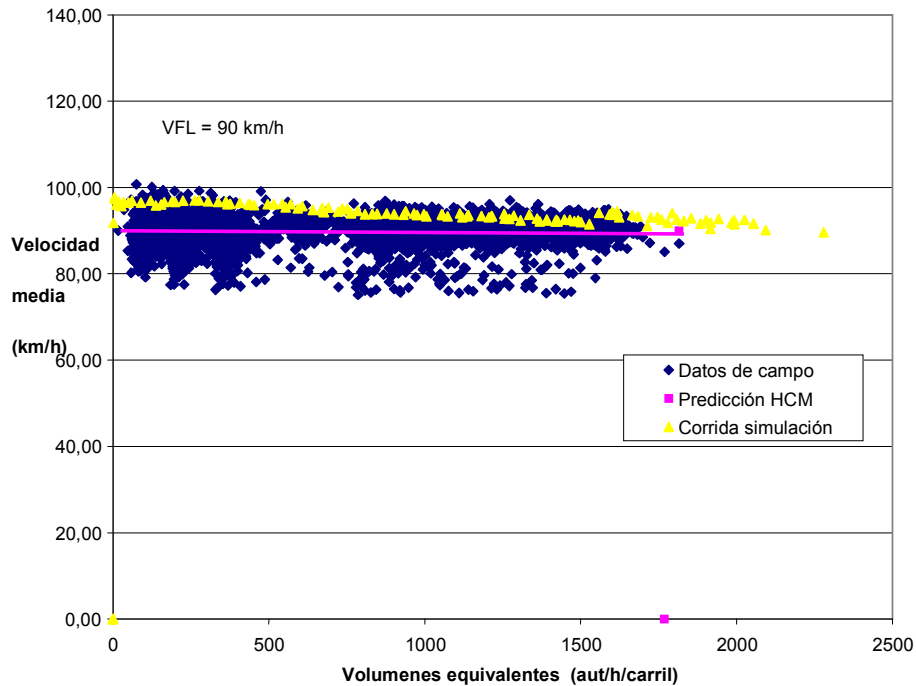


Figura 5: Gráficos de comparaciones datos de campo, predicción del HCM y modelo de simulación.

### 3 Resultados y Conclusiones

El resultado de este trabajo permitió una primera aproximación a la calibración de modelos de microsimulación de tránsito aplicados a una autopista argentina de 6 carriles por sentido con altos volúmenes de tránsito, encontrando las diferencias entre las mediciones reales, las predicciones del HCM y del modelo de microsimulación para el segmento básico de autopista en estudio.

Estas diferencias principalmente en mayores valores en la capacidad, se explicarían por el comportamiento de los conductores locales frente a los supuestos en el HCM (Estados Unidos) o en el Vissim (Alemania).

#### **4 Referencias**

Radelat,G. Principios de Ingeniería de Tránsito, ITE Institute of Transportation Engineers, USA, 2003.

Institute of Transportation Engineers, Manual of Transportation Engineering Studies, ITE, USA, 2003.

Federal Highway AdGuidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software FHWA. HRT-04-0040. July 2004.

Journal of Transportation Research Board N° 1876, Calibration and validation of Simulation Models, TRB, 2004.

Highway Capacity Manual, Transportation Research Board TRB, 2000.

Microscopic Traffic Simulation The Simulation System Mision, Wiedemann Rainer, 1974.

Manual del usuario VISSIM versión 5.10, Planung Transport Verkehr PTV, 2009.

Blousson, M. F., Tutor: González R. F. “Análisis de la equivalencia entre vehículos pesados y automóviles en una autopista argentina”. Trabajo final de grado carrera de Ingeniería Civil UCA, 2006.

Modelos de Tráfico Vial. J. G. Gardeta Oliveros, MOPU Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1984.