

Trabajo Técnico: **CALIBRACION DE MODELOS DE MICRO SIMULACIÓN DE TRÁNSITO
PARAMETROS QUE HACEN AL COMPORTAMIENTO DE LOS
CONDUCTORES EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES**

Área Temática: **GERENCIAMIENTO EN REDES**

Autor: **Raúl Fernando González** Ingeniero Civil Profesor

Universidad de Buenos Aires (UBA) – Pontificia Universidad Católica
Argentina (UCA)

DNI 16.535.778 – PRE-00158

Av. Juan B. Justo 9100 Edif. 16 – Dpto. 107- C1408

Ciudad de Buenos Aires - Argentina

Tel.: (54-11) 1560256748

rfgonz20@yahoo.com.ar

CALIBRACION DE MODELOS DE MICRO SIMULACIÓN DE TRÁNSITO PARAMETROS QUE HACEN AL COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

RESUMEN

Los modelos de microsimulación de tránsito constituyen en la actualidad una herramienta valiosa para el estudio de las arterias urbanas al permitir analizar y visualizar en forma integral la operación de todos y cada uno de los conductores-vehículos que circulan en condiciones prevalecientes de calzada, tránsito, y control, y características del propio usuario. Permiten “ver” el funcionamiento del sistema actual o de proyecto y además mediante realizar una animación gráfica, más amigable para el público general.

Este trabajo toma los resultados de la tesis defendida por el autor, en marco de la Maestría de Ingeniería del Transporte Orientación Vial de la Universidad de Buenos Aires y pretende mostrar con cierta universalidad y caracterizar estadísticamente el comportamiento de los usuarios en la red arterial de la ciudad de Buenos Aires a través de la medición de dos parámetros: Intervalo de saturación y el tiempo perdido en el arranque, que son cruciales a la hora de modelizar la descarga de una cola de una corriente vehicular.

Se presenta además del método manual tradicional de relevamiento en campo, protocolos para la observación y registro en base a videos obtenidos de las cámaras del Sistema Centralizado de Control de Tránsito que posee la Ciudad de Buenos Aires, y por otro lado el análisis de los archivos que entregan los contadores de tránsito, modalidad tipo PVR (per vehicle record).

Los parámetros estudiados permiten en cierto modo el ajuste de los modelos de microsimulación a las condiciones locales, específicamente en lo que hace al comportamiento de los conductores.

Los resultados presentados permitirán en primer lugar la calibración de los parámetros aludidos en los programas comerciales de simulación microscópica. En segundo lugar, la calibración de modelos macroscópicos tales como el Manual de Capacidad de Calzadas (HCM) para las arterias de la Ciudad de Buenos Aires.

(el autor agradece el apoyo dado por el Ing J.A. Pablo Cortés, tutor de la tesis citada)

1- Introducción

Aspectos conceptuales básicos de los modelos y los parámetros de estudio

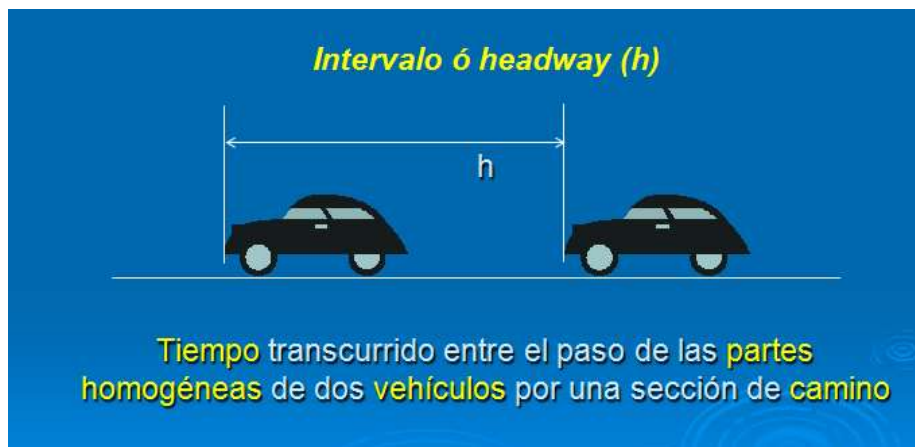
Los modelos de tránsito se han dividido tradicionalmente, de acuerdo al nivel de detalle de la representación de la realidad, en dos grandes categorías: los modelos macroscópicos, que consideran la circulación vehicular como un fluido continuo, y los modelos microscópicos, que describen el comportamiento de cada vehículo (conductor) en particular y su interacción con otros adyacentes.

Los distintos aspectos del flujo vehicular, en principio, se pueden describir desde un enfoque determinista o bien estocástico.

El método previsto en el Highway Capacity Manual (HCM) desarrollado por el Transportation Research Board (TRB) en los Estados Unidos, es un ejemplo de un modelo macroscópico y determinístico.

Uno de los parámetros microscópicos del tránsito, si se quiere temporales, es el headway “intervalo” (h) que se define como el tiempo transcurrido entre el paso de las partes homogéneas de dos vehículos por un perfil transversal de una carretera, en otras palabras se lo puede considerar como el tiempo transcurrido entre el paso de la parte delantera ó trasera de dos vehículos consecutivos.

Figura 1.1



La descripción del funcionamiento de una intersección semaforizada, evento característico de una red arterial urbana, es a partir de cómo se hace la “descarga de la cola” acumulada en el tiempo de rojo.

Básicamente, al recibir la indicación del verde, se necesitan unos pocos segundos para que el conductor del primer vehículo en la cola, tarde en reconocer que la señal se puso en verde y poner su vehículo en movimiento. Los vehículos siguientes también tardarán algún tiempo (menor) para acelerar. Se define entonces ese tiempo como tiempo perdido en el arranque que aproximadamente puede ser supuesto de 2 segundos. Después de aproximadamente el cuarto vehículo en la cola, el caudal tiende a estabilizarse en el flujo máximo que las condiciones se lo permiten, el mismo es conocido como la tasa de flujo de saturación, o simplemente saturación.

El intervalo de saturación (inversa de la saturación) es el parámetro que define como se “descarga la cola”. El apelativo de saturación dado al intervalo alude a la condición cuando el ritmo de la descarga se hace constante. En los modelos determinísticos – macroscópicos el intervalo de saturación se considera al valor medio, mientras en los estocásticos - microscópicos lo que interesa es la distribución estadística representada en tabla de deciles representativos de cada conductor-vehículo.

El tiempo perdido en el arranque, por su parte, consiste en la sumatoria de todos los excesos de tiempo insumidos por los primeros vehículos en relación al intervalo de saturación. Por ejemplo si el vehículo que se encuentra en la primera posición en promedio presenta un intervalo de 3,9 s y el intervalo de saturación es de 2,1 s, el aludido vehículo presenta un tiempo perdido de 1,8 s, si se extiende la sumatoria hasta la posición en la cual el ritmo de descarga se mantiene constante se obtendrá el tiempo perdido en el arranque.

Figura 1.2



2- Antecedentes

El intervalo de saturación fue ampliamente estudiado por diversos autores, siendo el pionero Bruce D. Greenshields y sus colaboradores, en 1947 publican “Traffic Performance at Urban Street Intersections”, basado en experiencias realizadas en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas de las ciudades de New Haven, Hartford y New York City en Estados Unidos.

Este trabajo definió por primera vez el concepto de intervalo de saturación y aplicó una ingeniosa técnica fotográfica que consistió en utilizar una cámara con una velocidad de registro en cuadros por minuto tal que la magnitud de la distancia recorrida “real” por un vehículo en pies, medida sobre los fotogramas en base a una grilla de referencia, coincide con la magnitud en millas por hora del vehículo.

En ese sentido teniendo en cuenta que una milla equivale a 5280 pies, se tiene que una milla por hora equivale a 88 pies por minuto. Ahora bien, si se selecciona como velocidad de registro de los fotogramas 88 cuadros por minuto, y se mide con ayuda de la grilla mencionada que de un cuadro a otro el vehículo recorrió una distancia z pies, y teniendo en cuenta que el tiempo transcurrido entre cuadro y cuadro es de $1/88$ minutos, se obtiene una velocidad de avance del vehículo de $88 \times z$ [ft/min], $\{v = z / (1/88)\}$.

Entonces, si 88 [ft/min] es igual 1 [mph], una velocidad de avance del vehículo de $88 \times z$ [ft/min] es igual a z [mph]. De tal forma, que la distancia z recorrida por un vehículo en pies implica una velocidad de avance del vehículo de z [mph].

Se utilizó además un contador mecánico que era fotografiado para identificar cada cuadro y un mecanismo conectado al semáforo para poder indicar los cambios de color del semáforo, que se iluminan uno por vez: rojo, amarillo y verde. Sobre las fotografías se dibujaban grillas en gabinete, en base a referencias marcadas con tiza en el pavimento. (Ver Figuras 2.1 y 2.2).

Figura 2.1

Cámara utilizada

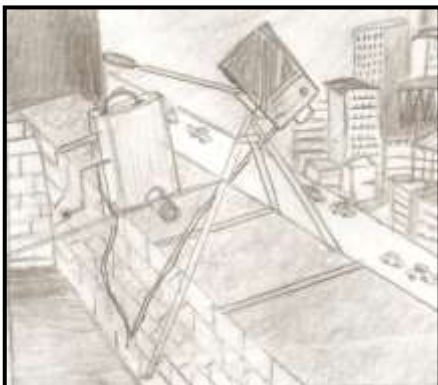


Figura 2.2

Grilla sobre fotograma



Fuente: Reproducción propia en base a imágenes de Traffic Performance at Urban Street Intersections, Greenshields (1947), p.3 y 6

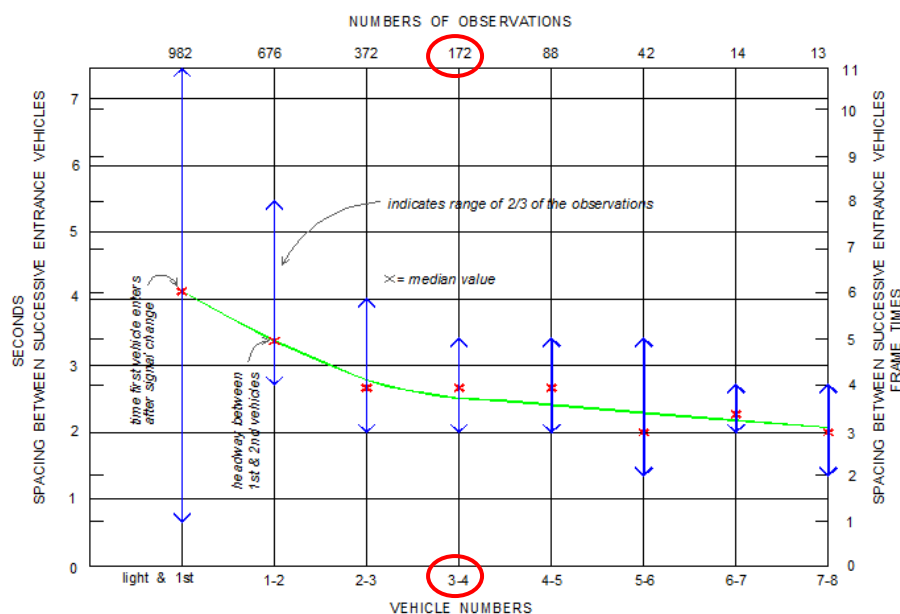
En este estudio y más específicamente la intersección de las calles Market and Morgan ubicada en la ciudad de Hartford, Estado de Connecticut, se registró el tiempo desde que cambia al verde y el paso por una determinada línea de referencia de cada uno de los vehículos, es decir cuánto se movían cada uno, de un fotograma a otro, y luego este valor se traducía a segundos.

A tal efecto, a partir de las mediciones citadas, se calculó por diferencias en sucesivos ciclos los “headway” o intervalos de tiempo entre vehículos de todo tipo, según estaban ubicados en la cola a medida que atravesaban la *línea de referencia*. Para el estudio se consideró como *línea de referencia* la continuidad virtual de la línea de cordón. Así las cosas, se observaron y calcularon por ejemplo 172 intervalos entre el tercer vehículo en cola y el cuarto vehículo en cola h_{3-4} , caracterizando el valor del intervalo por su mediana. El total de observaciones conformó una muestra de 2359 intervalos.

A partir de estas observaciones y cálculos de headway entre vehículos se elaboró una curva con la distribución del mismo sin diferenciar los tipos de vehículos, según la posición de cada uno de ellos en la cola de descarga, esta curva original se aprecia en la Figura 2.3.

Figura 2.3

Curva de distribución de headway en función de la posición del vehículo en la cola de descarga

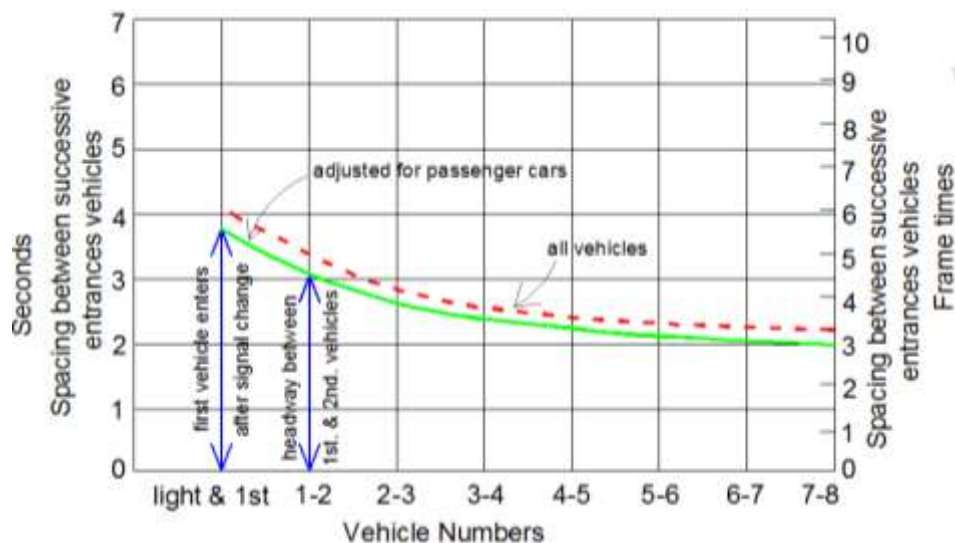


Fuente: Reproducción propia, en base a imagen de Figura 14 “Traffic Performance at Urban Street Intersections, Greenshields” (1947), p. 23- Se indica el ejemplo descrito en el texto

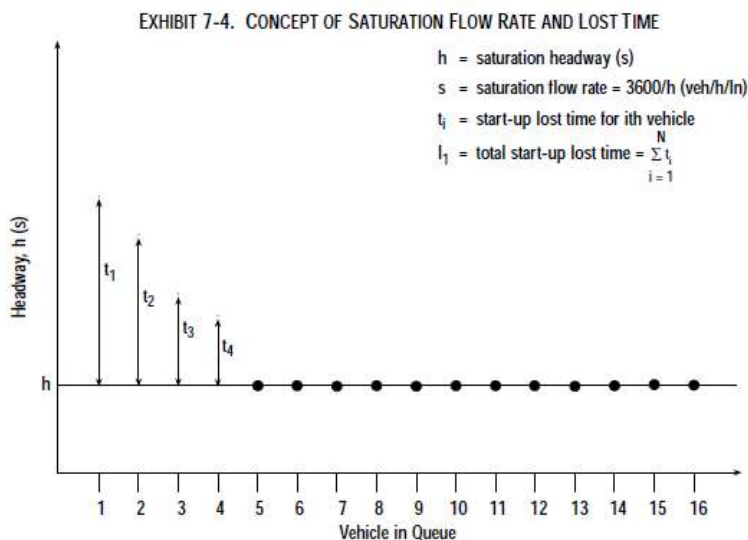
La citada curva original incluía todos los tipos de vehículos encontrados, finalmente fue ajustada para determinar la curva sólo para automóviles. Justamente esta curva ajustada fue la que tomó históricamente el Manual de Capacidad (HCM por sus siglas en inglés) como referencia para explicar el concepto de tasa de flujo de saturación y tiempo perdido. La aludida curva se puede observar en el Exhibit 4-7 del HCM 2010. (Chapter 4 page 4-12).

Figura 2.4

Curva ajustada de distribución de headway en función de la posición del vehículo en la cola de descarga



Fuente: Reproducción propia en base a Figura 16 "Traffic Performance at Urban Street Intersections", Greenshields (1947), p.28
Se indica en verde la curva ajustada para automóviles



Fuente: HCM 2000 similar gráfico en HCM 2010

El HCM del año 1950 y en la traducción al castellano realizada en 1955: "Capacidad de Caminos", por el Ing. José D. Luxardo, editado por la Administración General de Vialidad Nacional, cita en su página número 118:

"la experiencia ha mostrado que el espaciamiento mínimo entre automóviles cuando reinician la marcha uno detrás de otro en una trocha de 3,65 m. es, en promedio, unos 2,4 segundos. Los intervalos de tiempo para los dos primeros vehículos de la fila son, en general, considerablemente mayores que 2,4 segundos, pero el intervalo decrece progresivamente entre vehículos sucesivos hasta alcanzar un valor medio mínimo de 2,1 segundos entre el quinto y sexto vehículo de la fila."

Es interesante destacar que Greenshields para poder pasar de los intervalos medidos de todos los tipos de vehículos (sin discriminación entre automóviles, ómnibus y camiones) observados en la intersección de Market y Morgan, a intervalos entre automóviles, uso un concepto de equivalencia, basado en la relación de headway.

En ese sentido clasifica los intervalos calculados según el tipo de vehículo delantero y el tipo de vehículo zaguero (el que lo sigue), de tal forma divide los intervalos en cuatro tipos:

- A-A: automóvil siguiendo a automóvil
- O-A: otros (bus ó camión) siguiendo a automóvil
- A-O: automóvil siguiendo a otros
- O-O: otros siguiendo a otros

En la Tabla N° 2.1 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla N° 2.1

Tipo	Mediana del headway por tipo de intervalo en tiempo	
	Cuadros	Segundos
A-A	4	2,7
O-A	5	3,3
A-O	5	3,3
O-O	5	3,3

Fuente: Traffic Performance at Urban Street Intersections, Greenshields (1947) en base a Table VI , p.24

Se observa entonces, que los "autos siguiendo autos" necesitan 4 cuadros mientras que los "otros siguiendo o precediendo a los autos" necesitan 5 cuadros.

Es así que puede observarse en la Tabla N° 2.1, que la mediana del intervalo entre autos siguiendo a autos, fue calculada en tiempo de 4 cuadros que representan a razón de 88

cuadros/minuto un valor de 2,7 segundos, y el intervalo entre otros siguiendo a autos, fue de 5 cuadros que representan según Greenshields 3,3 segundos.

El estudio encuentra, como surge de la Tabla N° 2.1 y lo explicita claramente, “que la influencia de los camiones y buses no se extiende sólo hacia adelante sino también hacia atrás”. (Greenshields, 1947, p.24)

Entonces se puede observar que el tipo de intervalo A-O es también 5 cuadros en lugar de los 4 cuadros para el tipo de intervalo A-A.

Con esto se puede explicar la influencia de los camiones desde el punto de vista de la capacidad a través de un factor de equivalencia ET , basado en la relación de headways según los valores encontrados, resultando:

$$ET = h_{O-A} / h_{A-A} = 5 / 4 = 1,25 \text{ (influencia adelante)}$$

$$ET = h_{A-O} / h_{A-A} = 5 / 4 = 1,25 \text{ (influencia atrás)}$$

Por lo tanto se encontró que el tiempo entre autos siguiendo a camiones o buses (influencia hacia atrás de los camiones o buses) es un cuarto más del tiempo entre automóviles entrando a la intersección. Por otra parte, el tiempo utilizado por otro tipo de vehículo (camión o bus) para entrar después de un auto (influencia hacia adelante), es también un cuarto mayor respecto al que necesitan dos automóviles contiguos. Luego, sumando las dos influencias adelante y atrás llegamos a $0,25 + 0,25 = 0,50$.

De tal forma Greenshields concluye que la presencia de vehículos pesados (camión o bus) a la entrada de la intersección consume un tiempo de verde equivalente a 1,5 veces de lo que consumen en tiempo los automóviles, esto es un aumento en 50% del tiempo entre automóviles. Encontrando que dicho Factor para vehículos pesados (ET) vale 1,5.

Dicho valor fue tomado tradicionalmente por el Manual de Capacidad (HCM) aún hasta nuestros días y está basado en el concepto de la relación de intervalos entre autos y vehículos pesados, según su influencia hacia adelante y hacia atrás en la corriente vehicular a partir de las mediciones realizadas en la experiencia de Greenshields en 1947.

En 1991 Stan Tepply y M Jones de la Universidad de Alberta Edmonton Canadá, en su trabajo titulado “Saturation Flow: Do We Speak the Same Language?”, realizan una comparación utilizando distintas metodologías para determinar el flujo de saturación, como ser la del Manual de Capacidad (HCM), la Guía Canadiense y las Nomas Australianas.

Advierten que en general y de acuerdo a la revisión realizada, existe un primer grupo de técnicas que se basan en medir los intervalos de descarga de una cola definiendo la *línea de referencia* de distintas formas como ser: la línea de detención, el borde de la senda peatonal, la

línea de cordón cercana o lejana (pasando la intersección) u otra referencia por ejemplo una señal. Respecto a *la parte de referencia* en el vehículo advierten que pueden considerarse el paracolpe delantero, las ruedas delanteras o las traseras, o el paracolpe trasero del vehículo cuando pasa la línea de referencia adoptada. Identifican además a un segundo grupo de técnicas, que se basan en contar la cantidad de vehículos que pasan una línea de referencia durante una parte del tiempo verde.

El trabajo expone un gráfico espacio-tiempo (Figuras 2.5 A y B) , mostrando las distancias entre el primer vehículo y los siguientes con la *línea de referencia* con el objetivo de demostrar cómo influye en la determinación de los headways, la ubicación de la citada línea y la *parte de referencia* adoptada en el vehículo. Los autores citan cuatro casos según sea la *línea de referencia* + *parte de referencia* adoptadas:

A : Línea de detención + paracolpe delantero

A' : Línea de detención + paracolpe trasero

B : Línea de cordón cercana + paracolpe delantero

C : Línea de cordón lejana (pasando la intersección) + paracolpe delantero

Figura 2.5 A

Diagrama espacio – tiempo de la perfecta a descarga regular de una cola detenida con Aceleración uniforme

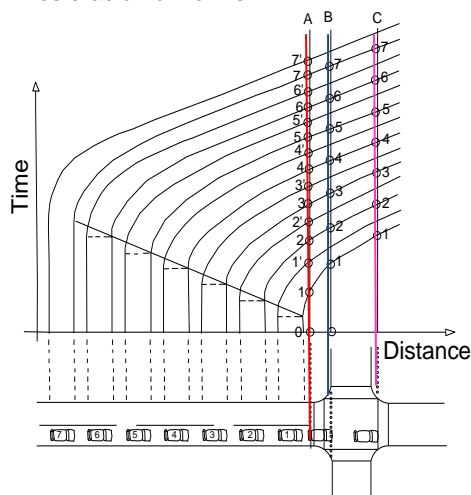
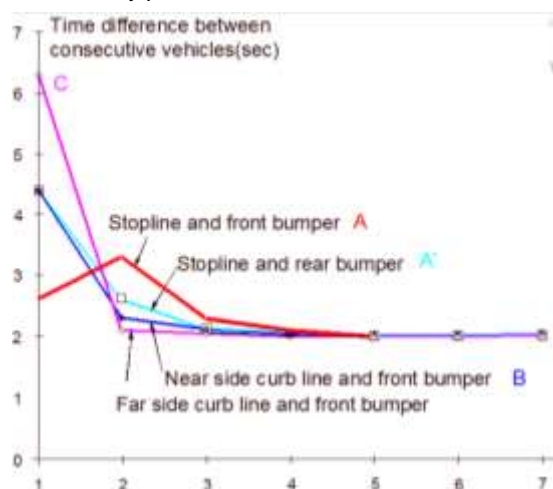


Figura 2.5 B

Distribución del headway según la posición en la cola y según las combinaciones de línea y *parte de referencia*.



Fuente: Reproducción propia en base a imágenes de Figuras 2 y 3 "Saturation Flow: Do We Speak the Same Language?", Tepply (1991) p.146 y 147

El trabajo no explicita como se obtuvo el diagrama, se entiende conveniente deducir la razonabilidad de dichas curvas.

A partir de un análisis cinemático del movimiento del vehículo, considerando un movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), que es aquel caracterizado porque su aceleración (a) permanece constante en el tiempo en módulo y dirección.

Es así que la ley que rige este movimiento se puede expresar como:

$$X = X_0 + V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Donde

X : posición

X_0 : posición en tiempo $t=0$ (inicial)

V_0 : Velocidad Inicial (m/s)

a : Aceleración (m/s^2) constante

t : Intervalo de Tiempo (s)

Luego

$$d = X - X_0 = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

d : Distancia recorrida entre t_0 y t (m)

Si para la descarga de la cola, antes del verde, el vehículo se encuentra detenido se tiene

$V_0 = 0$ m/s

Entonces

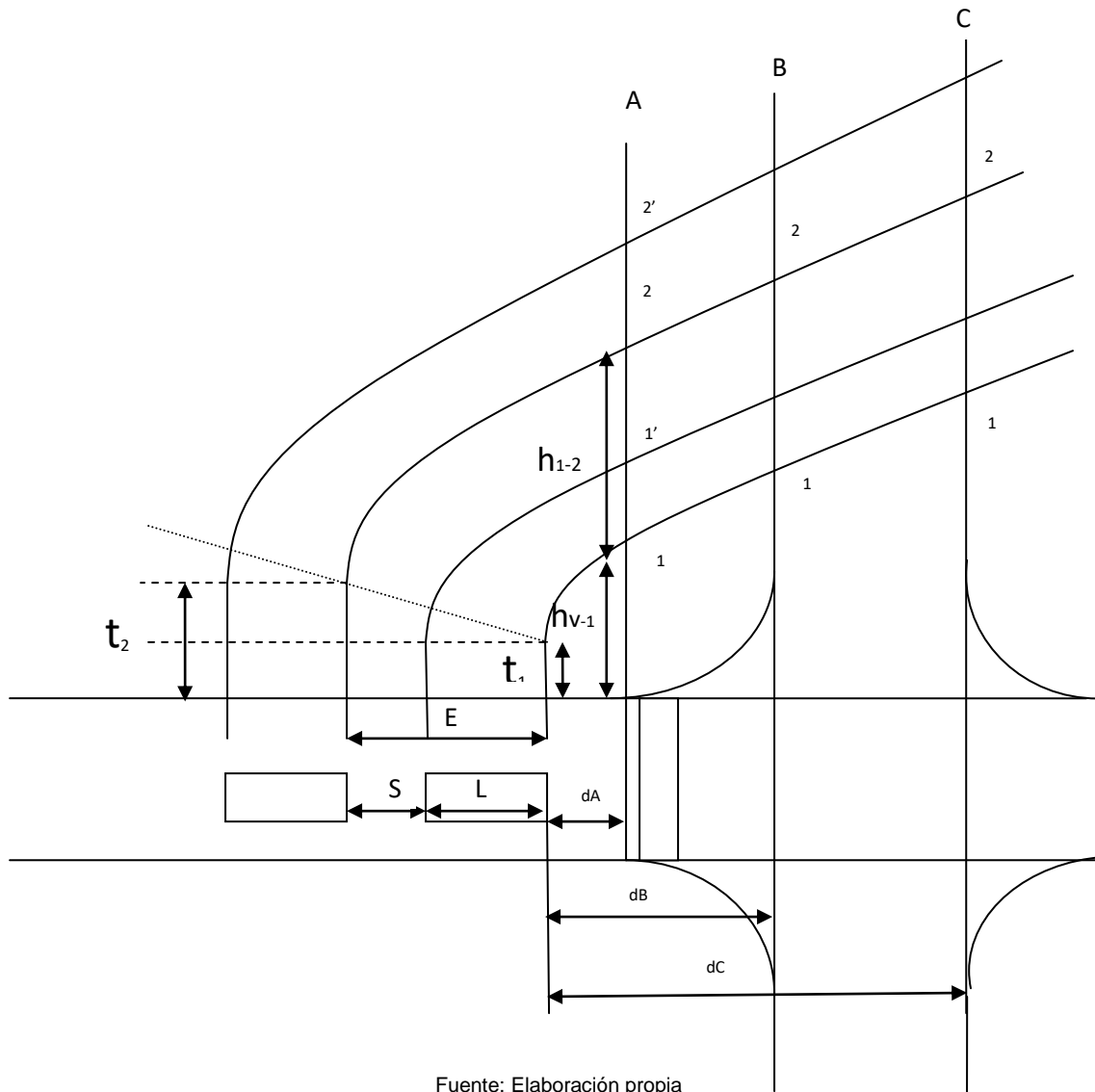
$$d = \frac{1}{2} a t^2$$

Finalmente

$$t = (2 d/a)^{1/2}$$

Figura 2.6

Diagrama espacio – tiempo de la perfecta descarga de una cola detenida con aceleración uniforme



Fuente: Elaboración propia

La Figura 2.6 permite observar a dos vehículos en cola antes de iniciar el verde. En ese sentido se observa que el primer vehículo en la cola se halla ubicado a una distancia d_A medida desde el paracolpe delantero a la línea de detención. Asimismo se observa que ese primer vehículo se halla a una distancia d_B hasta la línea de cordón cercana, y a una distancia d_C hasta la línea de cordón lejana (pasando la intersección).

Entonces se puede expresar la variación del intervalo entre vehículos según su posición en la cola de descarga de la siguiente forma:



Si $i = 1$
$$h_{v-i} = tr^1 + (2 dk/a)^{1/2}$$

Si $i = 2, 3, 4, \dots, m$ y $k = A, B, C$

Entonces
$$ti^k = tr^i + \Delta t^{ik}$$

$$ti^k = tr^i + (2 [(i-1)L + (i-1)S + dk]/a)^{1/2}$$

Luego
$$h_{(i-1)-i} = ti^k - t(i-1)^k$$

y
$$tr^i = i tr^1 \quad tr^i = tr^1 + \Delta tr \quad , \text{ siendo } \Delta tr = \text{constante}$$

Siendo L : longitud de vehículo (m)

dk : Distancia desde el paracolpe delantero a la línea de referencia k (m)

tr^1 : Tiempo de reacción del conductor del primer vehículo en la cola (s)

Δt^{ik} : Diferencia de tiempo entre posición i o parte de referencia del vehículo (paracolpe delantero) y posición k o línea de referencia) (s)

ti^k : Tiempo desde que el paracolpe del veh. i cruza la línea de referencia k (s)

tr^i : Tiempo de reacción del conductor del vehículo i en la cola (s)

Δtr : Diferencia de tiempo de reacción de conductores en la cola, valor cte (s)

m : Primer vehículo con velocidad deseada en la línea de detención o primero con headway constante

S : distancia entre vehículos detenidos en la cola. (Separación)

a : aceleración de vehículo constante (m/s)

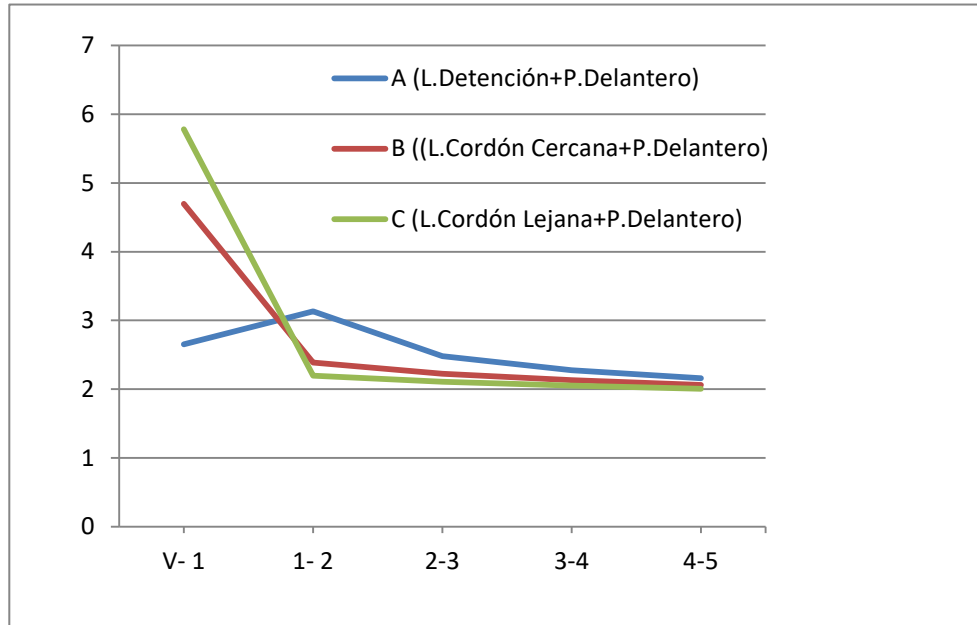
$h_{(i-1)-i}$: headway entre vehículo $i-1$ y vehículo i

A fin de validar las expresiones encontradas se han adoptado valores numéricos de un caso hipotético resultando los diagramas esperados que se indican en la Figura 2.7

$$\begin{aligned} tr^1 &= 1,5 \text{ s} \\ a &= 1,8 \text{ m/s}^2 \\ L &= 5,0 \text{ m} \\ S &= 0,8 \text{ m} \\ d_A &= 1,2 \text{ m} \\ d_B &= 9,2 \text{ m} \\ d_C &= 16,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Figura 2.7

Distribución del headway según la posición en cola para casos de estudio

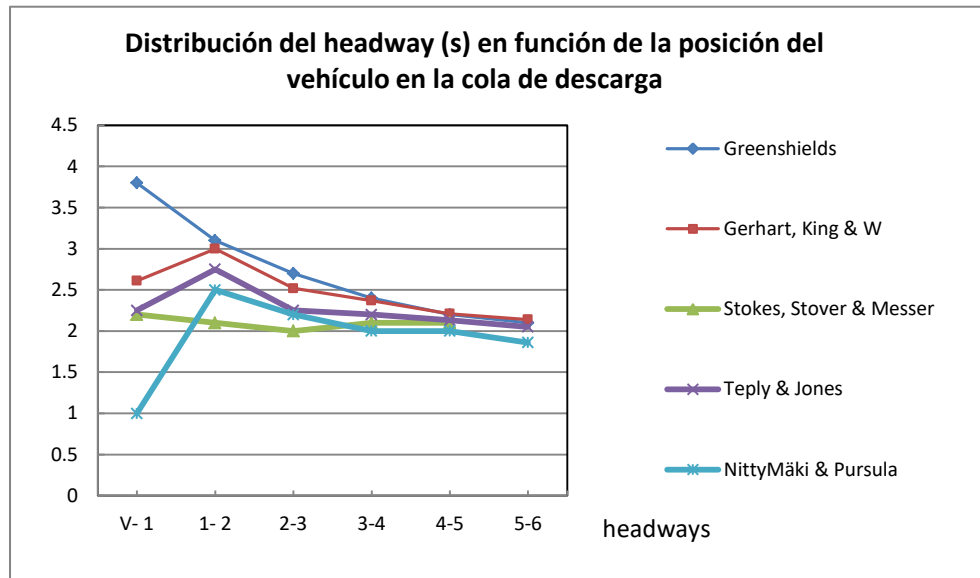


Fuente: Elaboración propia

Tepply explica que el problema en la práctica es más complejo, depende además de la longitud de los vehículos, las tasas de aceleración, el ruido de la aceleración de cada vehículo, las prácticas y normas reglamentarias de cada país, por ejemplo el uso del rojo amarillo y la presencia de motocicletas podrían alterar los perfiles de descarga y por ende los valores del headway de saturación.

Otras distribuciones encontradas por diversos investigadores como ser Gerhart, King & Wilkinson, Tepply & Jones, NittyMäki & Pursula como se aprecian en la Figura 2.8, presentan un menor valor del primer intervalo respecto al segundo, y a partir de allí van disminuyendo hasta un valor casi constante a partir del cuarto o quinto vehículo. Stokes, Stover & Messer encuentran que el primer intervalo es levemente superior al segundo y a partir de allí disminuye y se mantiene casi constante.

Figura 2.8



Fuente: Elaboración propia

3- Estudios de Campo para la calibración

Estrategia de medición

A fin de proceder a la calibración de los parámetros de estudio, se procedió al relevamiento de datos se realizó en base a tres técnicas: la primera visual/en campo (relevamiento de campo directo) que constituye la técnica tradicional, la segunda a través de videos obtenidos de las cámaras de Sistema Centralizado de Control tránsito que posee la Ciudad de Buenos Aires (visual/por video) y finalmente una tercer técnica a través de contadores de tránsito de última generación en su modalidad de archivos PVR (Per Vehicle Record).

Cabe destacar que mientras para el intervalo de saturación se utilizaron las tres técnicas, para el tiempo perdido en el arranque se utilizó la técnica visual/en campo y la técnica PVR a través de contadores de tránsito.

En este estudio se caracterizará las avenidas y más específicamente aquellas localizadas en el macrocentro ampliado de la Ciudad de Buenos Aires.

Las intersecciones seleccionadas son:

- ✓ Av. Pueyrredón y Dr. Ricardo Levene.
- ✓ Av. Pueyrredón y Av. Las Heras.
- ✓ Av. Paseo Colón y México.
- ✓ Av. Paseo Colón y Venezuela.
- ✓ Av. Cabildo y Dumont.
- ✓ Av. Leandro N. Alem y Paraguay.
- ✓ Av. Leandro N. Alem y San Martín.
- ✓ Av. Rivadavia y Reconquista.
- ✓ Av. Callao y Av. Corrientes.
- ✓ Av. Libertador y Av. Callao.

Figura 3.1

Ubicación de las intersecciones seleccionadas en el macrocentro ampliado de la Ciudad de Buenos Aires





Mediante relevamientos visual en campo

El tamaño de muestra está dado por el número de observaciones; esto es por ejemplo el número de ciclos o colas validadas, a tal efecto, los relevamientos se realizan durante 40 minutos como mínimo en cada puesto. En líneas generales, 40 minutos son equivalentes a 24 ciclos.

Entonces en cada puesto se elige el tipo de carril a medir, que sea el más cercano a las condiciones prevalecientes de calzada e ideales de tránsito y se estimará el tamaño de la muestra total como:

$$N_c = \frac{T \times 60 \frac{s}{\min} \times N_{CARRILES / PUESTO} \times N_{PUESTO}}{C}$$

Siendo N_c : número de observaciones de la muestra visual/en campo

T : tiempo de observación en minutos

$N_{CARRILES/PUESTO}$: número de carriles por puesto

N_{PUESTO} : cantidad de puestos

C : ciclo en segundos

Entonces

$$N_c = \frac{40 \frac{\min}{carril} \times 60 \frac{s}{\min} \times 1_{CARRIL / PUESTO} \times 7_{PUESTOS}}{100} = 168$$

Mediante relevamientos visual por video

En relación al tamaño de muestra los relevamientos se realizan durante 60 minutos como mínimo en cada puesto, en consecuencia el tamaño de muestra será de:



$$N_v = \frac{T \times 60 \frac{s}{min} \times N_{CARRILES / PUESTO} \times N_{PUESTO}}{C}$$

Siendo N_v : número de observaciones de la muestra visual/por video

T : tiempo de observación en minutos

$N_{CARRILES/PUESTO}$: número de carriles por puesto

N_{PUESTO} : cantidad de puestos

C : ciclo en segundos

Entonces

$$N_v = \frac{60 \frac{min}{carril} \times 60 \frac{s}{min} \times 1_{CARRIL / PUESTO} \times 4_{PUESTOS}}{100} = 144$$

Cabe destacar que, de acuerdo al método previsto en el “Manual of Transportation Engineering Studies” del ITE, la desviación estándar típica de la saturación es de 140 aphpc, de tal forma que el tamaño de muestra esté dado por la siguiente ecuación:

$$N = z^2 \cdot \sigma^2 / \varepsilon^2$$

Asimismo, suponiendo que se quiera estimar la saturación con un error de 50 aphpc con 90% de confianza se obtiene ($z=1,64$):

$$N = 1,64^2 \cdot 140^2 / 50^2 = 21 \text{ ciclos o colas validadas}$$

Surge entonces que un tamaño de muestra de 21 ciclos es suficiente para obtener un 90% de confianza, por lo tanto el tamaño de muestra se considera “prima facie” aceptable.

Se realizó el relevamiento a partir de las cámaras de monitoreo del Centro de Control de Tránsito, a las que se conecta una videograbadora (que fue provista para este trabajo) colocada en la salida del monitor de forma tal de generar filmaciones en formato VHS.

Toda vez que las filmaciones no llevan incorporados un reloj, se debe previamente verificar si los videos graban en tiempo real. A tal efecto se procedió a comparar los tiempos medidos de

parámetros tales, como por ejemplo el ciclo, con el realmente existente. Se verificó que se encontraron diferencias mínimas.

La filmación debe ser tal que permita apreciar una “cola” sin vehículos pesados, sin interferencia de giros, ni peatones, que permita ubicar al cuarto vehículo en la cola y en lo posible al último vehículo en la cola al inicio del verde. Por otro lado, que no exista congestión o flujo forzado corriente abajo. Las Figuras 3.2 y 3.3 ilustran al respecto.

Figura 3.2

Vista de pantalla de video con cola al inicio del verde, se observa el 4to y último vehículo



Fuente: Elaboración propia en base a filmación del Centro de Control de Tránsito de GCBA

Figura 3.3

Vista de pantalla de video se observa el paso del 4to por la línea de detención



Fuente: Elaboración propia en base a filmación del Centro de Control de Tránsito de GCBA

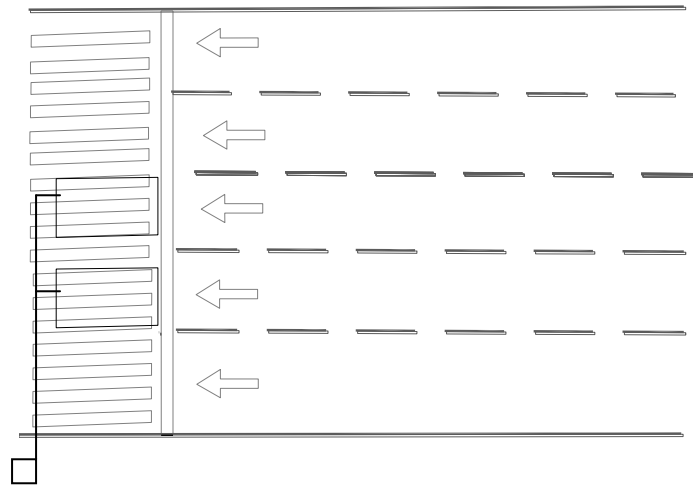
Mediante relevamientos automáticos por archivo PVR

Para el desarrollo de este trabajo se buscó un caso típico y a su vez que sirva como ensayo piloto de la validez de esta técnica, seleccionando la intersección de la Av. Paseo Colón y México de la Ciudad de Buenos Aires, que ya había sido relevada con la técnica de visual en campo.

Un aspecto de interés en esta técnica es la ubicación de la espira. En ese sentido se la ubicó con un borde en la línea de detención de la intersección semaforizada citada, ya que el vehículo es detectado al ingresar al loop formado por la espira Ver Figura 3.4

Es del caso destacar la necesidad de calibrar la hora del equipo contador con un cronómetro manual del observador de manera tal de registrar el inicio de cada fase verde. Asimismo, se deberá configurar el contador por razones de precisión de tal forma que el headway o intervalo, esté expresado como mínimo en décimas de segundos (Tiempo entre el parolpe delantero de un vehículo y el parolpe delantero del segundo vehículo que lo sigue).

Figura 3.4 Ubicación de detectores para registro de headway



Fuente: Elaboración propia

El contador automático tipo PVR utilizado en este trabajo, proporciona una salida en archivo de texto (.txt) que consta de dos partes: la parte superior referida al encabezado con los datos del contador, su ubicación y parámetros a relevar, y en la parte inferior referida a los datos.

En este sentido, en columna A se consigna la fecha del evento (detección de un vehículo), en la columna C se consigna el instante en que ocurre el evento en Hora, minutos y segundos.

En la columna I el número de vehículo, en la columna J el headway medido en milésimas de segundos y en la columna K el GAP o Brecha en milésimas de segundos como se aprecia en la Figura 3.5



Figura 3.5

Salida de contador automático tipo PVR

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	[PVRROUT VERSION],	V2.04											
2	KPH,"SPEED UNITS",												
3	METRES,"LENGTH UNITS",												
4	TONNES ,"WEIGHT UNITS",												
5	101	[BASIC FILEHEADER],											
6	2,"VERSION	NO",											
7	14:35,08/09/11,"START	AT",											
8	17:18,08/09/11,"END	AT",											
9	0244749701400092,"SERIAL	NUMBER",											
10	3.16,"FIRMWARE:	,											
11	1,"COMMS.	ID",											
12	009701400092,"SITE	ID.",											
13	000000000001,"STATION	ID.",											
28	FFFFFFFF,"ARRAY		1	01",									
29	99	[PVR HEADER STRING],											
30	501	[START OF DATA],											
31	DD/MM/YY	HH:MM:SS		Ord	ARR	FLOW	STAT	VEHNO	HDWAY	GAP	SPD	LPL,	
32	08/09/2011	14:35:26			1 +	FFFF	1	----	----	---	---		
33	08/09/2011	14:35:29			1 +	FFFF	2	3201	2783	---	---		
34	08/09/2011	14:35:33			1 +	FFFF	3	3746	2673	---	---		
35	08/09/2011	14:35:35			1 +	FFFF	4	1379	446	---	---		
36	08/09/2011	14:35:36			1 +	FFFF	5	1503	682	---	---		
37	08/09/2011	14:35:38			1 +	FFFF	6	1588	835	---	---		
38	08/09/2011	14:35:40			1 +	FFFF	7	1921	1197	---	---		
39	08/09/2011	14:35:43			1 +	FFFF	8	3159	2574	---	---		
40	08/09/2011	14:35:44			1 +	FFFF	9	1267	570	---	---		
41	08/09/2011	14:35:46			1 +	FFFF	10	1685	1058	---	---		
42	08/09/2011	14:35:47			1 +	FFFF	11	1448	752	---	---		
43	08/09/2011	14:35:49			1 +	FFFF	12	1656	1099	---	---		
44	08/09/2011	14:35:51			1 +	FFFF	13	1809	1266	---	---		
45	08/09/2011	14:35:52			1 +	FFFF	14	1740	1196	---	---		
46	08/09/2011	14:35:56			1 +	FFFF	15	3786	3214	---	---		
47	08/09/2011	14:36:02			1 +	FFFF	1	5827	5144	---	---		
48	08/09/2011	14:36:04			1 +	FFFF	2	2602	2254	---	---		
49	08/09/2011	14:36:20			1 +	FFFF	3	15908	15504	---	---		
50	08/09/2011	14:36:24			1 +	FFFF	4	3243	3020	---	---		
51	08/09/2011	14:36:27			1 +	FFFF	5	2964	2380	---	---		
52	08/09/2011	14:37:10			1 +	FFFF	1	42917	42527	---	---		

Fuente: Elaboración propia en base datos tomados del contador PVR

Protocolo de medición visual/en campo

Intervalo de saturación (Mean headway discharge)

Dado que el objetivo es estimar el intervalo de saturación en condiciones prevalecientes de calzada e ideales de tránsito, una vez seleccionada la intersección y su acceso, se seleccionará el carril que este menos influenciado por vehículos que giran a la izquierda, vehículos que giran a la derecha, peatones y buses, y sea compatible con una adecuada visualización.

La metodología a utilizar en este trabajo para relevar los intervalos de saturación (headway) sigue la propuesta por la Universidad de Northwestern y de alguna forma en línea con informe de la Federal Highway Administration, “Methodology for Optimizing Signal Timing” (1991), es la siguiente y se vincula con las Planillas que se observan en las Figuras 3.6 y 3.7. :

El coordinador y observador principal del relevamiento, fija la máxima longitud de cola que se descarga a través de un carril durante una fase verde;

Para cada ciclo, el observador principal, identifica el tamaño de cola al comienzo del verde (esto es, cuantos vehículos hay acumulados; por ejemplo, ocho);

Para cada ciclo, a su vez, el observador principal, identifica al último vehículo de la cola y al cuarto (esto es por ejemplo, Astra rojo el último, y Gol azul el cuarto);

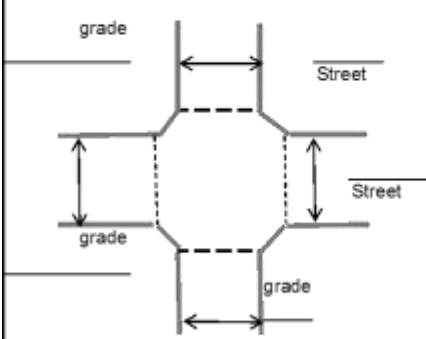
El cronometrista (auxiliar del coordinador) enciende el cronómetro cuando el eje delantero del cuarto vehículo pasa por la línea de detención y toma el tiempo en el cual el último vehículo (el eje delantero) pasa también por la línea de detención;

El observador anota en la Planilla de Campaña en correspondencia con el número correspondiente al último de vehículo en la cola, el tiempo detectado en el punto anterior.

Como surge de lo anterior, el equipo censal estuvo conformado por dos “censistas” (coordinador y cronometrista). Para la realización de la medición se requiere de un cronómetro, lápiz o birome, goma, planilla de campaña y respaldo de tapa rígida.

Figura 3.6

Planilla de Campaña Intervalo de Saturación

FIELD SATURATION FLOW RATE STUDY WORKSHEET																			
General Information										Site Information									
Analyst										Interseccion									
Agency or Company										Area Type <input type="checkbox"/> CBC <input type="checkbox"/> Other									
Date Performed										Jurisdiction									
Analysis Time Period										Analysis Year									
Lane Movement Input																			
										Movements Allowed <input type="checkbox"/> Through <input type="checkbox"/> Right Turn <input type="checkbox"/> Left Turn <small>Identify all lane movements and the lane studied</small>									
Input Field Measurement																			
Veh in queue	Cycle 1			Cycle 2			Cycle 3			Cycle 4			Cycle 5			Cycle 6			
	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
End of saturation																			
End of green																			
No veh > 20																			
No veh on yellow																			
Glosary and Notes																			
HV= Heavy vehicles (vehicles with more 4 tires on pavement) T= Turning vehicles (L= Left, R= Right) Pedestrian and buses that block vehicles should be noted with the time they block traffic, for example P12= Pedestrians blocked traffic for 12 s B15 = Bus blocked traffic for 15 s																			

Fuente: Reproducción propia en base a Exhibit H16-1 , Highway Capacity Manual HCM 2000



Figura 3.7

Planilla de Reducción-Intervalo de Saturación

MOST DATA COLLECTION AND ANALYSIS SHEET - SATURATION FLOW					
City _____		Condition _____			
Location _____		Link _____		Observer _____	
Date _____		Time _____		Weather _____	
Headway and Saturation Flow (Vehicle No. 4 thru A)					
Total Veh. In Queue		Times required (T)	No. Obs. (B)	Total Time (C=ΣT)	Product D=(A-3)*B
A	A-3				
4	1				
5	2				
6	3				
7	4				
8	5				
9	6				
10	7				
11	8				
12	9				
Totals			E=	F=	G=

HEADWAY = $H = F / G =$
SATURATION FLOW = $S = 3600 / H =$

Fuente: Reproducción propia en base a "PASSER II-90, User's Guide, Methodology for Optimizing Signal Timing: M|O|S|T"

Tiempo medio perdido en el arranque (Start Up Lost Time)

El tiempo perdido en el arranque (Start Up Lost Time) está definido como el tiempo de verde perdido por el movimiento inicial del tránsito y alude al tiempo perdido mientras el tránsito reacciona frente al verde de comienzo de la fase (“levantan velocidad”).

Aún cuando el concepto de tiempo perdido en el arranque es ampliamente conocido, su forma de medición impone matices, y existen diferencias en su medición. Para la presente trabajo se seguirá el siguiente procedimiento que se alinea con el recomendado por Federal Highway Administration, en la publicación “Transyt 7F Self-Study Guide”, 1980.

El procedimiento es el “paso a paso”

- ✓ Determinar el “headway” de saturación ideal (h_0), es decir sólo para automóviles.
- ✓ Se eliminan todos los headways después del arribo del primer vehículo pesado y aquel en correspondencia con el vehículo pesado, si fuera el cuarto.
- ✓ Para cada ciclo restar del headway correspondiente a cada vehículo en cola, el headway ideal obteniendo el tiempo perdido para el vehículo que ocupa la posición i (1 a 4), según el ciclo considerado.
- ✓ Promediar de tal forma de obtener un tiempo perdido promedio para cada ubicación en la cola
- ✓ Sumar los tiempos medios perdidos según la posición del vehículo en la cola.

Si, por ejemplo, en la Planilla de campaña que se observa en la TABLA N° 3.3, se identifican todos los “headway” correspondientes a los vehículos en la cola, y por otro lado de la forma mencionada más arriba se obtiene el headway de saturación en condiciones ideales y si se asume, a efectos de ejemplificar el procedimiento, que el h_0 es igual a 2,18 s/veh.

Así las cosas se eliminan por ejemplo del ciclo#1 el headway correspondiente al cuarto vehículo por ser un vehículo pesado, en el ciclo #4 se eliminan los cuatro headways por ser determinados después de un vehículo pesado.

La TABLA N° 3.3 permite el seguimiento del cálculo:

Ubicación en la cola	Headways observados en s en el ciclo#						Headway medio	Headway Ideal	$h_m - h_o$
	1	2	3	4	5	6			
1	3,5	2,9	3,9	H1	2,9	3,2	3,28	2,18	1,10
2	3,2	3,0	3,3	H2	H1	3	3,13	2,18	0,95
3	2,6	2,3	2,4	H1	H2	2,5	2,45	2,18	0,27
4	H1	2,2	2,4	H2	H2	H1	2,30	2,18	0,12
Suma total del exceso de tiempo insumido por los primeros cuatro autos									2,44

H1 Eliminado por vehículo pesado

H2 Eliminado por determinado después de un vehículo pesado

Fuente: El presente ejemplo, está tomado de Roess, R.P., & Prassas E.S., & Mc Shane, W.R., 2004, p. 642

Protocolo de medición visual/por video

i. Método de relevamiento:

Visual sobre video

ii. Duración:

60 minutos por filmación

iii. Tareas previas:

Selección de cámaras para grabar videos

En el Centro de Control de Tránsito del GCBA se procede a seleccionar cuál de las distintas cámaras en funcionamiento, ubicadas en las principales intersecciones de la ciudad, es la más conveniente a los fines de la determinación del parámetro en estudio.

Para estudiar el intervalo de descarga, sería necesaria aquella cámara en la que se aprecie una cola sin vehículos pesados, sin interferencia de giros, ni peatones y que permita ubicar al cuarto

vehículo en la cola y en lo posible al último vehículo en la cola al inicio del verde. Por otro lado, que no exista congestión o flujo forzado corriente abajo.

Cabe mencionar que en general el período de grabación fue de al menos dos horas cercanas a la hora pico, permitiendo observar en la misma intersección las dos situaciones citadas correspondientes. Fue necesario conocer además si los videos graban en tiempo real.

En relación a esto, las cámaras disponibles no registran el tiempo en la pantalla, así que se debió relevar manualmente la fecha y la hora de inicio y fin de la grabación.

Por otra parte fue necesario disponer y llevar un equipo de video grabadora con la correspondiente cinta y solicitar su conexión a la salida de la pantalla seleccionada.

Se destaca citar, que para la determinación del headway medio de saturación mediante esta técnica, es importante observar claramente en el video grabado, el instante en el cual, el cuarto y último vehículo en la cola detectados, pasan por la línea de detención, para luego proceder de forma similar la técnica visual/en campo, es decir la tradicional.

Protocolo de medición por relevamiento automático PVR

i. Método de relevamiento:

Automático con equipo de espira portátil colocado en el carril y contador ADR (Automatic Detection Record)

ii. Duración: 60 minutos por puesto

iii. Tareas previas:

- Identificar una intersección y horario donde se aprecie una longitud de cola por cada carril de descarga en la fase verde considerable, de orden de 10 vehículos o más.
- Identificar el carril que esté menos influenciado por vehículos que giran a la izquierda, vehículos que giran a la derecha, peatones y buses.
- Configurar el registro del contador a fin de obtener los siguientes datos:
 - ✓ Fecha formato: DD-MM-AA
 - ✓ Hora de control: formato Hs-Min-Seg

- ✓ Identificación de carril: número
- ✓ Número de Vehículo
- ✓ Gap o Brecha en milésimas de segundos (Tiempo entre vehículos)
- ✓ Headway o Intervalo en milésimas de segundos

iv. Tareas de campo:

- Instalar en el carril seleccionado la espira portátil conectada al equipo del contador ADR y sobre la línea de detención como se muestra en la Figura 3.4 ya citada.
 - Identificar y registrar con un cronómetro en fase con el reloj del contador, el inicio de cada fase verde durante el período de conteo.
 - Identificar y registrar con un cronómetro en fase con el reloj del contador, el tiempo entre el inicio de cada fase verde y el paso de la parte delantera del primer vehículo que registra el contador ADR, durante el período de conteo, se observa que en el equipo ADR se enciende una luz que indica que fue detectado y registrado por el mismo.
 - La información recopilada es guardada en un archivo, tipo extensión de texto, que puede fácilmente ser exportado a una planilla Excel para su procesamiento.
- A continuación en la Figura 3.8 se observan fotos ilustrativas del citado ensayo

Figura 3.8

Fotos ilustrativas del Ensayo con técnica relevamiento automático PVR



Cola de vehículos detenidos antes del verde



Espira portátil colocada en la línea de detención

Figura 3.8

Fotos ilustrativas del Ensayo con técnica relevamiento automático PVR



Detalle de espira portátil y contador ADR



Conteo de tiempos de inicio de verde y registro del paso del primer vehículo por la espira

Fuente: Elaboración propia

Valores observados y procesados

Intervalo de saturación (por técnica visual/campo y visual/video)

A modo de ejemplo en la Figura 3.9 se ilustra una Planilla de reducción de datos utilizada.

Figura 3.9

Planilla ejemplo reducción de datos para intervalo de saturación

RECOLECCION DE DATOS Y PLANILLA DE ANALISIS															
CIUDAD:	Buenos Aires										CONDICION:	Pav bueno			
UBICACION:	Av. L. N. Alem y San Martín										PUESTO:	VIIA iv			
FECHA:	15-sep-06										HORA:	15:50 a 17:00			
											TIEMPO:	bueno			
INTERVALO Y FLUJO DE SATURACION															
TOTAL DE VEHICULOS EN COLA		Tiempo necesario										Nº Obs.	Tiempo Total	Producto	
A	A-4	T										B	C=Σ T	D=(A-4) x B	
4	0														
5	1											0	0,00	0	
6	2	5,30										1	5,30	2	
7	3	5,90										1	5,90	3	
8	4	8,15	8,31	8,01	9,00	7,73	7,82	8,51				7	57,53	28	
9	5	10,22	8,86	8,80	9,03	8,87	9,01	10,43	9,11	9,31		9	83,64	45	
10	6	10,70	11,90	9,63	10,50	9,96	10,50					6	63,19	36	
TOTALES												24	215,56	114	
												E	F	G	
INTERVALO = H = F/G = 1,89															
FLUJO DE SATURACION = S = 3600 / H = 1904															

Fuente: Elaboración propia

Tiempo perdido en el arranque (por técnica visual/campo)

Para este caso, según la metodología propuesta, fue necesario relevar los headways individuales con la técnica visual/ campo y a partir de allí calcular el tiempo perdido en el arranque.

Es así que volcaron los valores registrados manualmente en campo con el cronómetro según el protocolo correspondiente, en una planilla de cálculo.

En la Figura 3.10, se aprecia la planilla del relevamiento de los headways individuales para un puesto determinado donde se contabilizaron 23 ciclos o colas validadas.



Figura 3.10

Planilla ejemplo de relevamiento de datos para Tiempo perdido en el arranque (técnica visual/campo)

PLANILLA DE CAMPO									
REDUCCION DE DATOS									
TIEMPO PERDIDO EN EL ARRANQUE									
CIUDAD:	Buenos Aires								
UBICACION:	Av. Paseo Colón y México	PUESTO:	III t	CONDICION:	pav bueno		V=		63
FECHA:	27-jun-11	HORA:	14:40	OBSERVADOR:	RFG				
				TIEMPO:	bueno		C=		110
Ubicación en la cola									
Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2,82	2,46	2,22	1,97	2,39	1,52	1,89		
2	2,05	2,81	2,51	1,40	1,78	2,56	2,68		
3	1,71	2,69	3,90	1,21	3,44	1,75	-		
4	3,17	2,19	2,35	2,23	2,08	2,97	-		
5	2,36	2,16	1,64	2,82	2,63	1,73	1,57		
6	1,40	2,22	2,10	3,96	2,50	1,73	2,50		
7	1,56	3,35	3,11	2,01	1,94	1,73	3,08		
8	1,62	3,40	1,34	1,73	2,41	1,68	1,60		
9	3,75	1,89	1,87	1,59	2,19	2,03	-		
10	2,28	2,22	1,49	1,48	1,51	1,41	1,79		
11	1,85	4,47	1,78	2,02	2,44	1,70	2,36		
12	1,07	2,77	2,06	2,80	1,72	1,70	2,42		
13	1,84	2,97	2,23	3,56	2,02	1,70	-		
14	1,50	2,30	3,17	3,75	1,86	1,52	1,56		
15	2,77	2,22	2,26	2,00	2,42	1,84	1,71		
16	1,27	2,25	2,88	1,94	1,80	2,01	1,75		
17	3,69	4,07	1,69	2,20	2,27	1,70	1,24		
18	2,92	2,00	1,76	2,00	3,56	2,28	1,69		
19	1,72	2,60	1,86	2,00	2,06	2,32	3,45		
20	1,56	3,30	1,81	2,31	1,60	1,43	1,86		
21	2,51	3,07	2,19	2,68	1,60	1,35	2,17		
22	1,48	3,27	2,03	2,38	2,35	1,56	2,44		
23	1,07	2,81	1,54	1,49	1,91	2,21	1,68		
24									
25									
media	2,09	2,76	2,16	2,24	2,19	1,84	2,08		
desvío st	0,79	0,66	0,61	0,73	0,52	0,40	0,57		
N	23	23	23	23	23	23	19		

Fuente: Elaboración propia

Tiempo perdido en el arranque (por técnica relevamiento automático PVR)

Para este caso el cálculo del tiempo perdido en el arranque utiliza la información obtenida a partir de la exportación del archivo tipo txt, que proporciona el contador automático tipo PVR de la intersección de estudio, a una planilla de cálculo. Es así, que en dicha planilla se colocaron manualmente, la posición de los vehículos en el orden de la cola de descarga por ciclo y luego puede asociarse para el primer vehículo de la cola el valor del intervalo h_{v-1} , calculado tal cual se explicó anteriormente a partir del registro manual del inicio del verde y para los demás vehículos siguientes en la cola, el contador automático PVR registra los headways individuales.

En este caso se pudo encontrarse un total de 86 ciclos que hacen un total de 602 mediciones individuales validadas.

En la Figura 3.11, se indica la planilla de cálculo elaborada que permitió calcular el tiempo perdido en el arranque para el total de la muestra, según la metodología adoptada en la técnica de relevamiento automático PVR.

Además, se observa el tamaño de cada uno de los valores registrados según la posición del vehículo en la cola, el valor medio, el desvío estándar y el coeficiente de variación respectivo.



Figura 3.11

Planilla de reducción de datos para Tiempo perdido en el arranque

(Técnica relevamiento automático PVR)

UBICACION:	Av. Paseo Colón y México				PUESTO:		III pvr				
FECHA:	8-sep-11				HORA:		14:35 a 17:17 horas				
	Ubicación en la cola (headway en segundos)										
Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2,45	2,965	2,904	3,633	1,545	1,796	1,796	1,713	1,531	2,659	
2	4,464	2,52	2,185	2,381	2,269	1,212	1,726	1,472	2,547	1,42	
3	1,276	4,733	1,727	1,852	2,686	1,379	1,239	4,093	1,155	1,518	
4	1,571	2,339	2,255	2,242	1,782	2,199	1,462	1,698	3,41	1,657	
5	0,56	3,731	2,298	1,921	1,296	2,672	1,893	1,865	1,684	1,532	
6	2,03	1,476	2,144	2,492	2,033	1,726	1,296	1,81	1,044	2,394	
7	1,49	2,548	2,283	2,266	1,392	1,115	1,781	3,02	2,562	1,322	
8	1,79	6,682	2,046	2,103	1,434	1,698	3,378	2,492	2,395	1,824	
9	2,81	2,645	3,216	2,004	2,005	1,323	2,186	1,183	1,88	2,77	
10	1,25	1,879	2,033	3,396	2,103	2,547	3,494	4,871	2,213	1,852	
11	2,16	2,924	3,257	1,574	3,174	1,698	1,42	1,949	2,641	1,462	
12	1,82	2,534	2,687	2,603	2,534	1,197	1,921	3,076	1,169	1,392	
13	4,43	2,424	3,28	2,061	2,186	1,81	1,642	1,712	1,239	1,406	
14	1,05	2,408	3,425	2,505	1,379	1,726	1,88	1,461	1,1	4,37	
15	1,51	1,573	2,117	2,297	2,617	3,648	1,628	1,936	2,729	1,35	
16	8,5	2,075	1,907	1,643	2,06	2,659	1,865	2,548	1,475	1,963	
17	4,76	2,214	3,062	1,824	1,504	1,726	2,714	1,212	1,225	2,394	
18	1,57	4,524	2,451	2,13	2,061	1,726	1,935	3,048	1,656	1,963	
19	3,45	2,354	1,35	3,1	3,104	2,451	1,336	1,434	1,852	3,131	
20	5,74	2,381	1,699	1,281	2,882	1,962	2,306	1,67	3,48	2,144	
21	3,89	2,506	3,788	1,852	1,837	2,798	2,464	1,517	3,23	1,67	
22	4,45	2,715	2,186	1,559	1,949	1,504	2,659	1,67	1,295	0,919	
23	1,30	4,344	2,088	2,255	2,2	1,517	2,103	1,197	1,184	2,074	
24	4,11	1,685	3,577	2,297	1,796	1,976	2,27	1,294	1,42	1,963	
25	4,22	2,507	1,722	2,367	3,049	1,559	1,253	1,545	1,503	1,239	
26	5,36	4,052	1,922	2,116	2,978	1,556	3,076	1,698	1,977	2,533	
27	4,55	2,772	1,949	1,727	2,213	2,213	2,659	1,518	1,225	2,826	
28	1,07	3,536	2,117	2,38	3,62	2,018	1,991	1,768	4,412	2,06	
29	2,37	2,047	4,301	2,06	2,255	1,935	1,365	1,531	2,297	1,364	
30	3,04	2,605	1,949	1,657	1,726	1,211	2,144	1,976	1,1	3,981	
31	2,10	3,745	3,28	2,033	1,309	2,144	1,781	2,074	1,921	1,35	
32	3,81	4,093	1,56	2,38	1,837	1,114	2,144	2,055	1,921	2,561	
33	3,51	1,963	3,16	1,935	1,503	2,589	1,211	2,533	1,239	1,281	
34	3,09	4,371	3,174	1,782	1,754	2,311	1,309	1,796	1,415	1,629	
35	2,32	2,617	2,283	2,255	2,366	1,907	1,573	2,102	1,796	1,781	
36	1,54	1,545	1,253	1,922	2,143	3,703	1,879	1,142	1,141	1,364	
37	1,63	4,454	2,014	2,005	2,061	1,657	1,503	1,448	2,533	1,393	
38	1,23	1,141	2,493	2,172	4,105	2,075	2,143	1,991	1,643	4,036	
39	4,70	2,381	2,366	2,311	1,991	2,06	2,116	1,935	1,852	1,74	
40	0,53	3,396	3,328	2,353	1,907	1,81	1,434	1,434	1,685	1,642	
41	1,87	1,754	4,329	2,478	1,95	2,686	1,6	1,587	1,727	2,144	
42	0,60	3,188	3,022	3,326	1,601	1,142	2,144	2,116	1,823	1,671	



Continuación Figura 3.11 Planilla de reducción de datos para Tiempo perdido en el arranque (Técnica relevamiento automático PVR)

UBICACION:	Av. Paseo Colón y México				PUESTO:		III pvr			
FECHA:	8-sep-11				HORA:		14:35 a 17:17 horas			
	Ubicación en la cola (headway en segundos)									
Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
43	4,87	2,465	2,557	2,589	2,339	1,142	1,392	2,292	2,867	1,74
44	1,42	2,521	1,754	2,506	3,939	2,004	1,643	1,392	1,379	2,505
45	1,31	2,354	3,062	2,005	1,601	2,603	3,743	3,216	1,684	1,74
46	3,87	1,518	1,253	2,38	1,421	2,366	2,826	1,322	1,81	1,893
47	2,67	3,244	2,785	1,963	2,325	2,38	2,116	3,702	1,907	1,198
48	2,64	2,84	3,522	2,046	1,128	3,313	1,476	1,684	1,016	1,866
49	3,06	1,545	3,161	1,958	1,504	1,629	1,768	2,84	1,824	1,559
50	5,52	2,145	3,842	1,88	2,144	1,921	1,276	1,698	1,512	2,227
51	0,49	3,328	2,853	2,673	1,56	1,587	1,239	1,518	1,462	1,977
52	3,20	1,531	3,507	2,59	1,392	1,782	2,979	1,42	2,019	1,921
53	1,83	2,576	1,56	2,7	2,993	2,033	3,104	1,03	1,629	2,505
54	1,47	3,786	1,184	2,923	1,741	2,241	2,089	1,656	3,173	1,072
55	1,56	2,394	2,061	4,045	1,602	3,855	1,643	3,146	1,573	1,49
56	1,96	2,59	2,172	1,462	1,796	3,215	1,448	2,004	1,727	4,774
57	1,74	3,369	1,49	2,116	3,605	2,338	1,406	1,657	2,561	2,882
58	3,62	2,353	1,379	2,422	1,685	1,559	1,963	1,212	1,35	1,615
59	3,64	3,048	1,421	1,865	2,478	2,311	1,336	1,35	1,685	1,309
60	1,70	3,314	2,59	3,257	1,907	1,463	1,962	1,178	4,076	2,102
61	4,00	2,784	2,697	1,782	1,503	2,018	1,991	1,74	1,462	2,492
62	3,70	2,729	2,868	2,687	1,546	2,38	1,42	1,379	1,838	2,77
63	2,99	2,952	2,088	2,172	2,937	3,633	1,949	2,31	1,865	1,879
64	2,01	3,816	2,95	2,159	2,004	1,059	1,155	2,268	1,963	2,463
65	2,07	2,784	2,241	1,922	1,323	1,782	1,198	1,322	1,503	2,088
66	3,94	2,701	3,147	1,42	1,963	2,06	1,226	1,555	1,852	1,74
67	4,13	2,423	1,916	1,866	2,061	1,74	2,005	2,45	1,684	1,573
68	2,95	2,172	3,647	1,935	1,991	1,936	2,408	2,741	1,818	2,325
69	3,99	2,159	2,548	1,824	1,824	2,102	1,851	1,991	1,434	2,561
70	3,76	1,615	2,38	2,018	2,909	2,102	1,601	1,67	2,158	2,311
71	2,87	2,312	1,866	1,601	1,685	2,519	1,754	1,559	1,406	1,88
72	0,85	1,559	3,035	1,768	1,838	1,573	1,629	1,726	3,437	1,685
73	3,37	2,298	3,46	1,462	1,504	1,601	2,867	1,573	3,008	1,378
74	1,66	3,258	1,643	2,992	1,852	1,851	2,103	1,907	1,434	1,962
75	0,55	3,634	1,852	2,979	4,69	2,144	1,796	2,798	1,365	1,392
76	2,00	2,798	1,671	3,034	1,782	2,283	1,615	2,13	1,379	1,559
77	1,92	3,467	1,407	1,643	1,337	1,323	1,503	3,016	1,476	1,643
78	0,59	2,659	2,13	2,158	3,66	1,1	1,128	1,016	2,297	2,088
79	4,31	2,145	2,654	2,422	1,657	2,31	2,673	1,336	1,991	
80	2,97	2,896	1,588	2,297	1,865	1,588	1,406	1,698		
81	4,11	2,27	3,188	2,047	2,825	1,671	1,671	2,297		
82	3,76	2,84	2,409	2,45	1,824	1,462	2,422	3,423		
83	2,12	4,009	2,228	2,617	5,401	1,601	1,838	2,709		
84	1,77	4,983	2,102	1,977	2,061	2,979	1,489			
85	2,88	2,089	2,339	6,856	2,479	1,03	1,323			
86	2,99	2,02	1,908	1,518	1,642	2,422	3,995			
N	86	86	86	86	86	86	86	83	79	78
Media	2,73	2,77	2,45	2,27	2,16	2,00	1,92	1,97	1,90	
Desvío Est	1,46	0,93	0,74	0,71	0,78	0,62	0,61	0,72	0,71	
CV(%)	53,42	33,38	30,07	31,42	36,14	31,28	31,95	36,64	37,17	

4- Análisis de resultados

Intervalo medio de saturación (en segundos)

A partir del procesamiento de los datos relevados según las siguientes técnicas utilizadas:

Visual/en campo (relevamiento de campo directo)

- ✓ Visual/por video
- ✓ Automática PVR (Per Vehicle Record)

Se calculó el valor medio global de cada muestra asociada a una técnica y luego se buscó la posibilidad de un análisis en conjunto con una muestra mayor, utilizando las herramientas de la estadística, para probar su confiabilidad. Se considera la técnica denominada Visual/en campo (relevamiento de campo directo), es la tradicional y se toma como referencia o base para realizar los test de hipótesis.

En los siguientes cuadros se describen el tamaño de la muestra en ciclos o colas validadas (N), el valor medio, el desvío estándar, el coeficiente de variación (CV) en % y Varianza, para el cálculo del intervalo de saturación en segundos, según las técnicas citadas:

Técnica Visual/ Campo N = 208	N	208	redondeo
	Media	2,14	2,1
	Desvío st	0,36	0,4
	CV (%)	16,97	
	VARIANZA	0,13	

Visual/ Video N = 163	N	163	redondeo
	Media	2,1	2,1
	Desvío st	0,43	0,4
	CV (%)	20,74	
	VARIANZA	0,19	

Automática/PVR N = 86	N	86	redondeo
	Media	2,02	2
	Desvío st	0,37	0,4
	CV (%)	18,15	
	VARIANZA	0,14	

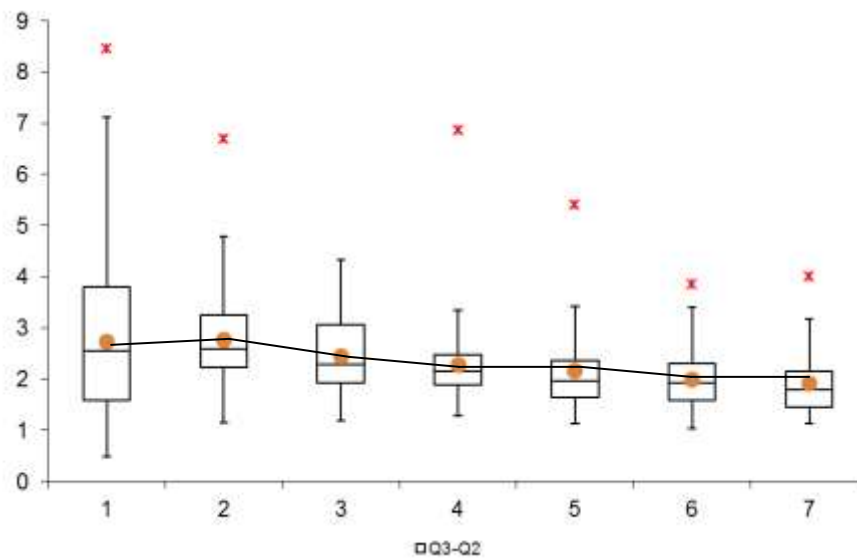
En consecuencia, a fin de conocer si los resultados obtenidos por las técnicas Visual/Campo y Visual/Video pueden ser considerados en conjunto se procedió a realizar un Test F de Snedecor (de homogeneidad de varianzas) de las dos muestras a fin de determinar si hay diferencias con un nivel de significancia de 0,05. Al no resultar diferencias significativas, o sea que las muestras obtenidas con las técnicas citadas presentan homogeneidad de varianzas y

puede trabajarse con una muestra conjunta: Técnica Visual/ Campo + Video, obteniendo así el siguiente resultado:

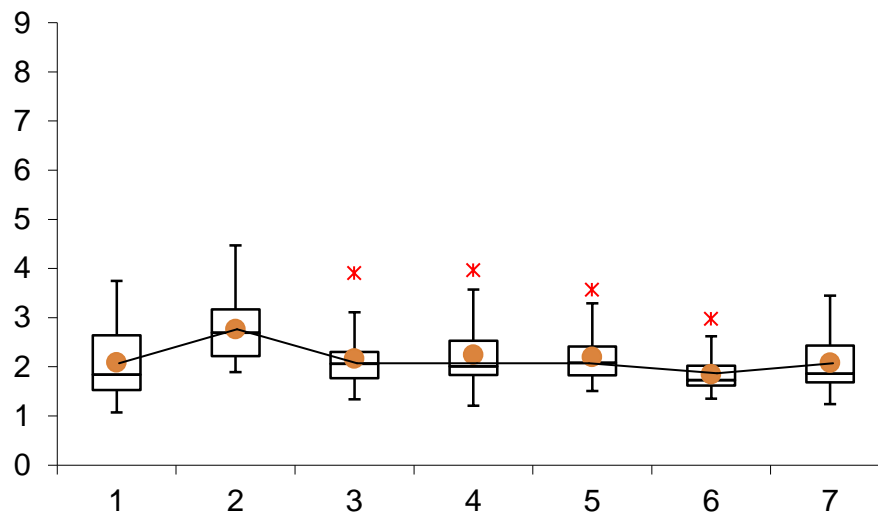
Visual/Campo + video N = 371	N	371	redondeo
	Media	2,12	2,1
	Desvío st	0,4	0,4
	CV(%)	18,68	

Curvas distribución de intervalos según posición en cola según este trabajo

Paseo Colón y México (según medición técnica Automática PVR) (símil caso A)



Paseo Colón y México (según medición técnica Visual/ Campo) (símil caso A')



Tiempo Perdido en el Arranque (en segundos)

Para el tiempo perdido en el arranque, se utilizó la técnica visual/en campo y la técnica PVR a través de contadores de tránsito, los resultados encontrados según la metodología adoptada son:

Técnica Visual/en campo

Ubicación en la cola							
	1	2	3	4	5	6	7
N	149	149	149	149	132	114	68
Headway medio hm (s)	2,32	2,72	2,35	2,32	2,18	2,1	2
Desvío est. (s)	1,08	0,72	0,69	0,61	0,56	0,56	0,44
Headway ideal ho (s)	2,12	2,12	2,12	2,12			
hm - ho (s)	0,2	0,6	0,23	0,2			
Suma total del exceso de tiempo insumido por los primeros cuatro autos (s)	1,24						

Técnica con el contador automático PVR

Ubicación en la cola							
	1	2	3	4	5	6	7
N	86	86	86	86	86	86	86
Headway medio hm (s)	2,73	2,77	2,45	2,27	2,16	2	1,92
Desvío est. (s)	1,46	0,93	0,74	0,71	0,78	0,62	0,61
Headway ideal ho (s)	2,12	2,12	2,12	2,12			
hm - ho (s)	0,61	0,66	0,33	0,15			
Suma total del exceso de tiempo insumido por los primeros cuatro autos (s)	1,75						

Técnica Visual/en campo + Automático PVR

Ubicación en la cola							
	1	2	3	4	5	6	7
N	235	235	235	235	218	200	154
Headway medio hm (s)	2,47	2,74	2,38	2,3	2,17	2,06	1,96
Desvío est. (s)	1,24	0,8	0,71	0,65	0,65	0,59	0,54
Headway ideal ho (s)	2,12	2,12	2,12	2,12			
hm - ho (s)	0,35	0,62	0,26	0,18			
Suma total del exceso de tiempo insumido por los primeros cuatro autos (s)	1,42						

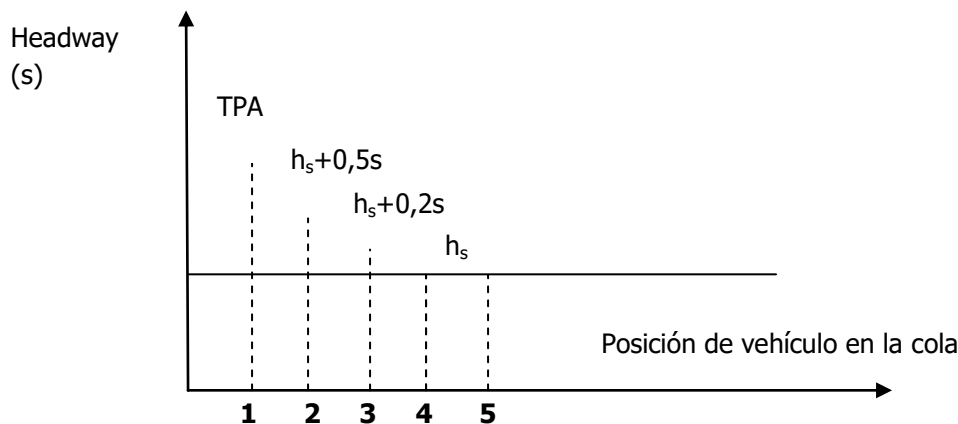
5- Aplicación a los modelos de Micro simulación de Tránsito

Uso de los parámetros estudiados en los modelos de microsimulación como ser el Traf Netsim y el Vissim

El Traf Netsim

Para entender cómo funciona el modelo respecto a la descarga en cola, siguiendo a Shui-Ying Wong en su trabajo Traf-Netsim; How It Works, What It Does (ITE Journal, pag. 23 y 24,) se puede expresar:

“Cuando el semáforo cambia de rojo a verde, el primer vehículo de la cola incurre en el Tiempo Perdido en el Arranque “TPA” (especificado por el usuario del programa o por defecto), luego acelera una tasa de aceleración especificada por el usuario del programa o por defecto, hasta alcanzar una velocidad de flujo libre especificada por el usuario del programa o por defecto. El segundo vehículo en la cola incurre en un tiempo perdido en el arranque igual al intervalo medio de saturación “ h_s ” (especificado por el usuario del programa o por defecto) más 0,5 segundos. El tercer vehículo en la cola incurre en un tiempo perdido en el arranque igual al intervalo medio de saturación más 0,2 segundos. El cuarto vehículo y los siguientes en la cola abandonan la línea de detención a una tasa igual al intervalo medio de saturación”.



Por otra parte, los vehículos entran a la red en forma estocástica según la técnica de Montecarlo. Es así que se representan el comportamiento de los tipos de vehículos y/o de conductores según tres parámetros o variables: velocidad en flujo libre, intervalo medio de saturación y tiempo perdido en el arranque.

El modelo asigna a cada vehículo que entra a la red un comportamiento pseudoaleatorio, para ello se utilizan tablas de deciles que representan diferentes tipos de conductores (1 a 10) con

valores de porcentajes o pesos respecto al valor medio especificado del parámetro. Así, por ejemplo, según el trabajo de Shui-Ying Wong citado, los valores por defecto que el programa trae para las variables de estudio de este trabajo se observan en la Tabla Nº 5.1.

La aceleración máxima que trae por defecto el Traf Netsim es de 10 f/s^2 ($3,04 \text{ m/s}^2$).

Tabla Nº 5.1

Deciles por defecto programa Traf Netsim

Fuente: Elaboración propia

Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalo de saturación Multiplicador (%)	170	120	120	110	110	110	90	70	70	50
Tiempo perdido en el arranque Multiplicador (%)	218	140	125	118	102	86	78	63	47	23

Obtención de tabla de deciles en base a valores observados

En particular el intervalo de saturación y el tiempo perdido en el arranque se presentan en el modelo TRAF NETSIM como las distribuciones estadísticas sujetas al proceso de calibración y se muestran en forma de deciles, siendo la variable de entrada, el tipo de conductor o tipo de vehículo según corresponda.

En este trabajo a partir de los relevamientos efectuados de los intervalos según el método Visual/Campo y Visual/Video se han elaborado tablas de distribución de identificación de intervalos y deciles, en donde se divide la columna de frecuencias acumuladas porcentuales en diez intervalos iguales. Cada intervalo representa un décimo del total de frecuencias, y en cada uno de ellos se identifica el valor medio de la variable o decil, que corresponde a ese décimo de frecuencia total.

Por ello, la distribución se reduce a diez valores que se suponen tienen la misma probabilidad de ocurrir. Los intervalos se numeran del 1 al 10, que representan distintos tipos de comportamiento de conductores, de tal forma que generando un número aleatorio entre el 1 y el 10 se selecciona azarosamente el decil correspondiente a ese intervalo.

Se muestra la Tabla Nº 5.2 con los deciles encontrados para la distribución para el intervalo de saturación y para el tiempo perdido en el arranque que son de utilidad, para la calibración del modelo TRAF NETSIM citado y la Tabla Nº 5.3 comparando con los valores dados por defecto en el modelo para los parámetros estudiados.

Tabla Nº 5.2

Deciles encontrados en base a mediciones realizadas

Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Intervalo de saturación seg/veh	2,98	2,46	2,31	2,20	2,09	2,00	1,93	1,85	1,76	1,60	2,12
Intervalo de saturación en décimas de seg/veh	29,8	24,6	23,1	22,0	20,9	20,0	19,3	18,5	17,6	16,0	21,2
Multiplicador (%)	141	116	109	104	99	95	91	87	83	75	

Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Tiempo perdido en el arranque seg/veh	3,95	2,84	2,23	1,81	1,33	0,99	0,68	0,35	0,04	0,01	1,42
Tiempo perdido en el arranque en décimas de seg/veh	39,5	28,4	22,3	18,1	13,3	9,9	6,8	3,5	0,4	0,1	14,2
Multiplicador (%)	277	200	157	127	93	70	48	24	3	1	

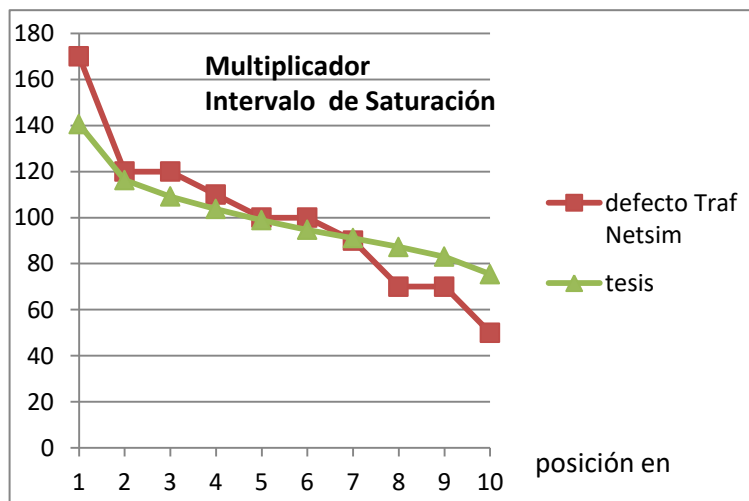
Fuente: Elaboración propia

Tabla Nº 5.3

Comparación y gráficos con los valores dados por defecto en el Traf Netsim

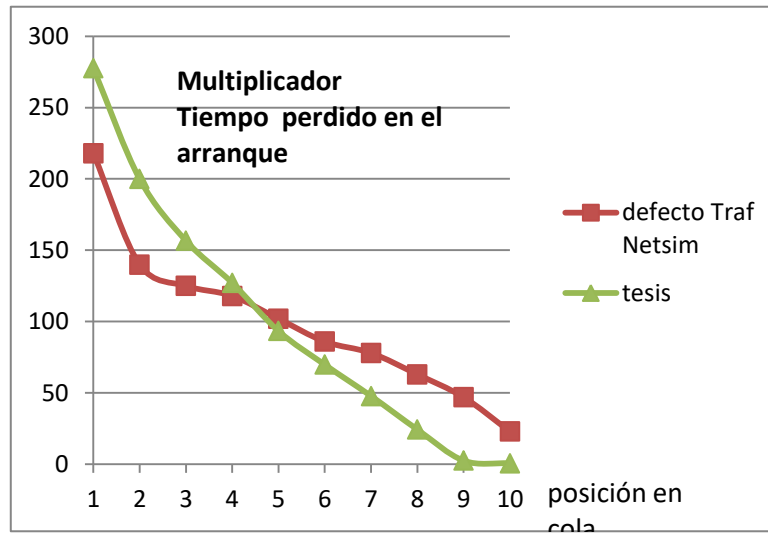
Intervalo de Saturación											
Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Multiplicador por defecto	170	120	120	110	100	100	90	70	70	50	18
Multiplicador según tesis	141	116	109	104	99	95	91	87	83	75	21,2
Tiempo perdido en el arranque											
Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Multiplicador por defecto	218	140	125	118	102	86	78	63	47	23	20
Multiplicador según tesis	277	200	157	127	93	70	48	24	3	1	14,2

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Se observa una tabla de deciles con una distribución más moderada según este trabajo para el caso del intervalo de saturación y con un valor medio más atenuado, respecto a la dada por defecto en el programa Traf Netsim.



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del tiempo perdido en el arranque se encuentra, una tabla de deciles con una distribución más sesgada hacia los agresivos y con un valor medio más impulsivo, respecto de los valores dados por defecto por el Traf Netsim.

El Vissim

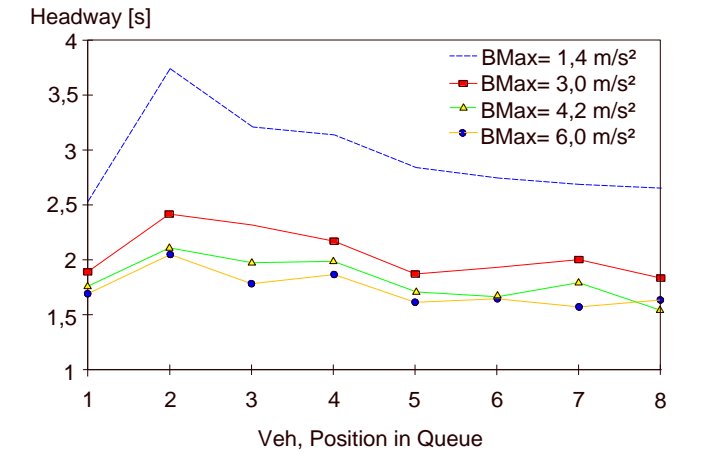
Siguiendo a Martin Fellendorf en su trabajo “Parametrization of microscopic Traffic Flow Models through Image Processing” (8th IFAC Symposium on Transport, Crete, pag. 5 y 6), se puede expresar: “La calibración de las variables interdependientes, como por ejemplo: la tasa de descarga (seg/veh) de una intersección semaforizada al inicio del verde depende de las siguientes condiciones locales (1) aceleraciones en el arranque, (2) separación entre vehículos en la cola, (3) la longitud de las colas, y (4) el comportamiento del vehículo seguidor. El valor medido de la tasa de descarga “ h_s ” validado permitirá calcular el flujo de saturación.

La máxima aceleración en la línea de detención B_{max} es un parámetro de calibración no medible del submodelo de seguimiento del vehículo.” Para el Vissim la distribución de headways depende de la aceleración, más precisamente la máxima B_{max}

En la Figura 5.1 reproducida del estudio de Fellendorf, se puede observar la distribución de headways según la posición del vehículo en la cola

Figura 5.1

Tasa de descarga según posición en la cola como parámetro de validación del Vissim



Fuente: Reproducción propia en base a Figura 4 (pag 6)- "Parametrization of microscopic Traffic Flow Models through Image Processing" – M. Fellendorf. 8th IFAC Symposium on Transport .1997

Elaboración de curvas de distribución de intervalo con las mediciones realizadas

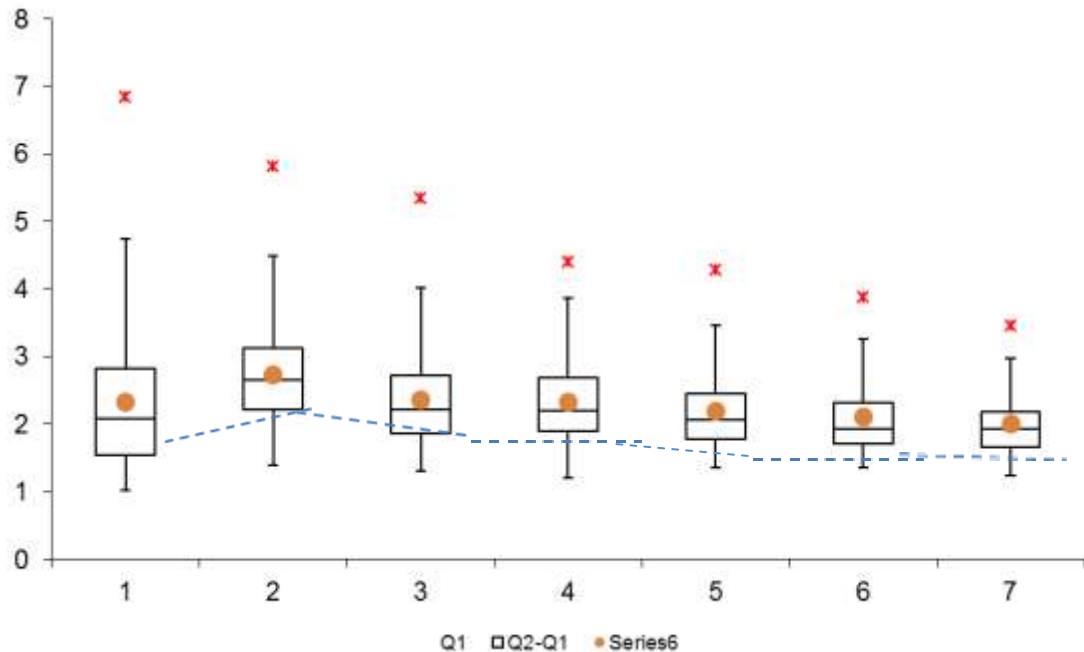
A partir de los relevamientos realizados en este trabajo con las técnicas ya explicadas se procedió a encontrar las curvas de distribución del intervalo en función de la posición del vehículo en la cola de descarga del verde para caracterizar el comportamiento de los conductores en la Ciudad de Buenos Aires.

Para ello a fin de un tratamiento estadístico de los datos se utilizaron los diagramas de Box-Plot, que expresa cinco medidas descriptivas, a saber: mediana, primer cuartil, tercer cuartil, valor máximo y valor mínimo. Presenta al mismo tiempo, información sobre la tendencia central, dispersión y simetría de los datos de estudio. Además, permite identificar con claridad y de forma individual, observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. A estas observaciones se les conoce como valores atípicos.

Se hace notar que a las planillas excel originales, se han agregado otros parámetros como ser número de la muestra N, Media, Desvío Estándar y Coeficiente de Variación CV.

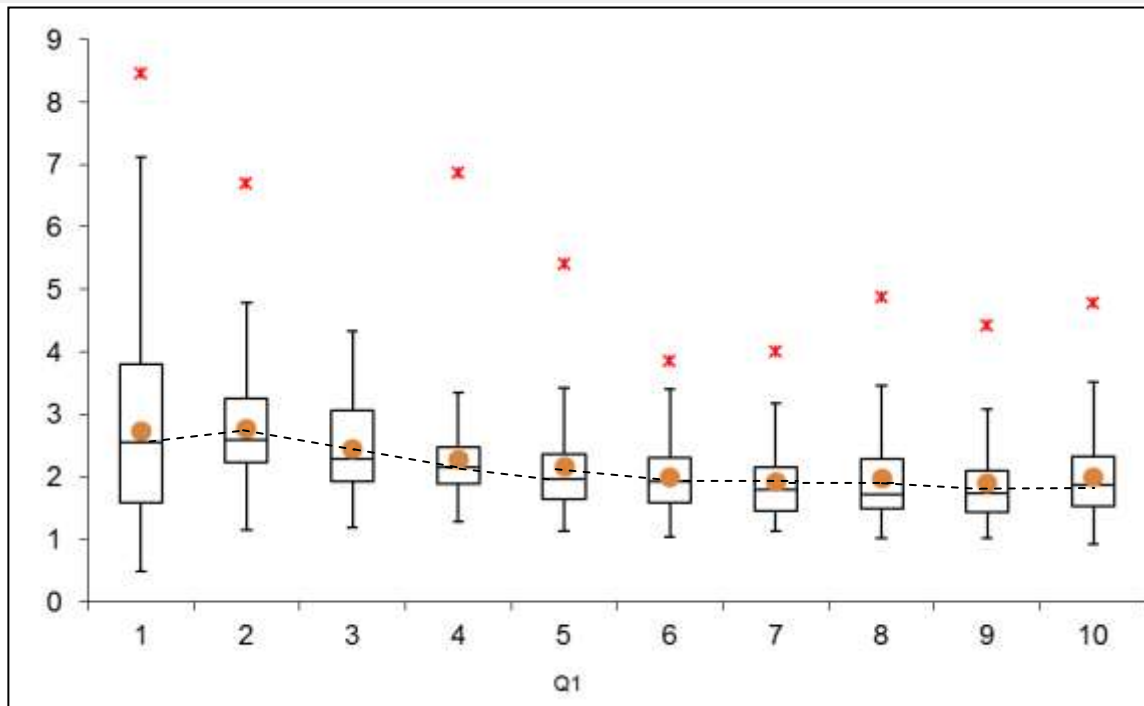
Los resultados se muestran en las Figuras 5.2 y 5.3

Figura 5.2 Distribución del intervalo según posición en la cola (s) (Visual/Campo)



Labels	1	2	3	4	5	6	7
Min	1,01	1,39	1,3	1,21	1,36	1,35	1,24
Q ₁	1,54	2,22	1,86	1,89	1,7725	1,7	1,65
Median	2,08	2,65	2,21	2,19	2,06	1,93	1,92
Q ₃	2,82	3,13	2,72	2,68	2,4475	2,32	2,18
Max	6,84	5,81	5,34	4,4	4,28	3,88	3,45
IQR	1,28	0,91	0,86	0,79	0,675	0,62	0,53
Upper Outliers	7	2	5	2	6	5	3
Lower Outliers	0	0	0	0	0	0	0
N	149	149	149	149	132	114	68
Media	2,32	2,72	2,35	2,32	2,18	2,10	2,00
Desvio S	1,08	0,72	0,69	0,61	0,56	0,56	0,44
CV	46,36	26,43	29,51	26,50	25,53	26,77	22,12
<i>For the Box (IQR and Median)</i>							
Q2-Q1	0,54	0,43	0,35	0,3	0,2875	0,23	0,27
Q3-Q2	0,74	0,48	0,51	0,49	0,3875	0,39	0,26
<i>For the Whiskers</i>							
Q ₃ +1.5*IQR	4,74	4,495	4,01	3,865	3,46	3,25	2,975
Q ₁ -1.5*IQR	-0,38	0,855	0,57	0,705	0,76	0,77	0,855
Upper Whisker	4,74	4,495	4,01	3,865	3,46	3,25	2,975
Lower Whisker	1,01	1,39	1,3	1,21	1,36	1,35	1,24
W _{upper} -Q ₃	1,92	1,365	1,29	1,185	1,0125	0,93	0,795
Q ₁ -W _{lower}	0,53	0,83	0,56	0,68	0,4125	0,35	0,41
<i>For the Outliers</i>							
Max	6,84	5,81	5,34	4,4	4,28	3,88	3,45
Min	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Figura 5.3 Distribución del intervalo según posición en la cola (s) (Automática PVR)



Posición en cola	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Min	0,49	1,141	1,184	1,281	1,128	1,03	1,128	1,016	1,016	0,919
Q ₁	1,5875	2,228	1,9175	1,89025	1,6458	1,5873	1,4515	1,4945	1,427	1,5215
Median	2,5425	2,583	2,283	2,144	1,9565	1,928	1,796	1,713	1,727	1,859
Q ₃	3,7958	3,2545	3,05525	2,471	2,3593	2,311	2,1438	2,28	2,0885	2,3215
Max	8,45	6,682	4,329	6,856	5,401	3,855	3,995	4,871	4,412	4,774
IQR	2,2082	1,0265	1,13775	0,58075	0,7135	0,7238	0,6923	0,7855	0,6615	0,8
Upper Outliers	1	2	0	4	7	4	4	3	7	4
Lower Outliers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	86	86	86	86	86	86	86	83	79	78
Media	2,73	2,77	2,45	2,27	2,16	2,00	1,92	1,97	1,90	2,00
Desvio S	1,46	0,93	0,74	0,71	0,78	0,62	0,61	0,72	0,71	0,72
CV	53,42	33,38	30,07	31,42	36,14	31,28	31,95	36,64	37,17	35,97
<i>For the Box (IQR and Median)</i>										
Q ₂ -Q ₁	0,955	0,355	0,3655	0,25375	0,3108	0,3408	0,3445	0,2185	0,3	0,3375
Q ₃ -Q ₂	1,2532	0,6715	0,77225	0,327	0,4028	0,383	0,3478	0,567	0,3615	0,4625
<i>For the Whiskers</i>										
Q ₃ +1.5*IQR	7,1081	4,7943	4,76188	3,34213	3,4295	3,3966	3,1821	3,4583	3,0808	3,5215
Q ₁ -1.5*IQR	1,7249	0,6882	0,21088	1,01913	0,5755	0,5016	0,4131	0,3163	0,4348	0,3215
Upper Whisker	7,1081	4,7943	4,329	3,34213	3,4295	3,3966	3,1821	3,4583	3,0808	3,5215
Lower Whisker	0,49	1,141	1,184	1,281	1,128	1,03	1,128	1,016	1,016	0,919
W _{upper} -Q ₃	3,3124	1,5398	1,27375	0,87113	1,0703	1,0856	1,0384	1,1783	0,9922	1,2
Q ₁ -W _{lower}	1,0975	1,087	0,7335	0,60925	0,5178	0,5573	0,3235	0,4785	0,411	0,6025
<i>For the Outliers</i>										
Max	8,45	6,682	#N/A	6,856	5,401	3,855	3,995	4,871	4,412	4,774

Elaboración de curvas de distribución de intervalo según corridas del modelo de microsimulación piloto

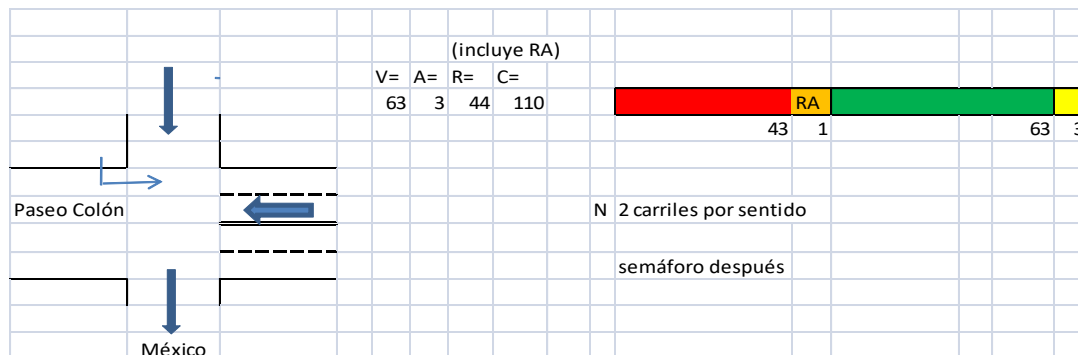
Simulación de intersección piloto con el Vissim

Se procedió a simular la descarga de cola del carril central descendente de la intersección piloto Av. Paseo Colón y México, utilizando el programa Vissim, con el objetivo de encontrar las curvas de distribución de headways, que simula el citado programa a partir de un número de corridas representativas. Luego se buscaron armar las tablas de deciles para el intervalo medio de saturación, similares a las que utiliza el Traf Netsim a fin encontrar un proceso de calibración.

Para ello se realizaron relevamientos de campo sobre la geometría y fases semafóricas.

Figura 5.4

Diagrama de fases elaborado y según carga a modelo Vissim



Se realizaron las primeras corridas a partir del armado de una red con links que representan las arterias y las denominadas aéreas de conflicto en sus cruces con los semáforos y sus fases correspondientes que incluye el rojo amarillo de 1 s de duración . Se mantienen en general los

parámetros por defecto que trae el programa, ya que el objetivo de esta prueba era conocer como simula el programa la descarga en cola.

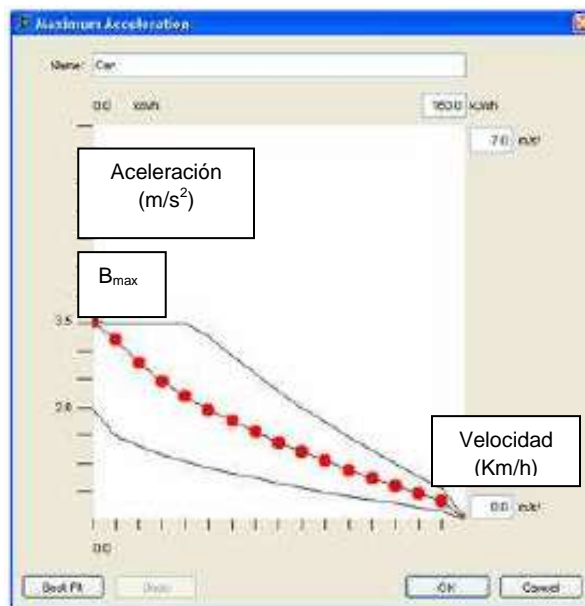
Como carga de tránsito se adoptó una composición de 100% automóviles con la velocidad deseada por default de valor medio 50 km/h, el programa define que puede variar entre un mínimo de 48,0 Km/h a un valor máximo de 58,0 km/h.

Se tomaron 40 minutos por corrida con un volumen de 1300 vehículos en el link principal que contiene los dos carriles centrales. Se colocó un contador "virtual" ("Data Collection Point") en correspondencia a la línea de detención, en el carril rápido adyacente a la línea divisoria de sentidos, que es justamente donde se encontraba la espira en la técnica Automática PVR, esta ubicación del contador se identifica con el número 2.

Cabe destacar que como se mencionó, el flujo de saturación depende la aceleración máxima B_{max} y de las curvas que trae por defecto el programa sobre la distribución de aceleración en función de la velocidad, estas curvas parabólicas son tres y representan a los valores: mínimo, medio y máximo, donde se observa en la Figura 5.5 que para velocidad nula el valor de la aceleración máxima B_{max} es de 3,5 m/s^2 .

Figura 5.5

Curvas de distribución de la aceleración (B_{max} por defecto)



Fuente: programa Vissim por defecto

Se realizaron con el programa múltiples corridas variando la semilla inicial ("Random seed =42" por defecto) y mediante la denominada "Special Evaluations (Discharge Rate Evaluation)" se

obtuvieron informes de salida en formato txt, que pueden ser exportados a una planilla Excel, como por ejemplo en que se indica en la Figura 5.6.

En dicha planilla se puede observar que se divide en dos partes, por un lado el encabezado y por otro el cuadro de datos.

En el encabezado se distinguen las siguientes filas:

- ✓ (File): path o ubicación y nombre del archivo de la corrida,
- ✓ (Comment): lugar para comentarios
- ✓ (Date): día de la semana, Fecha y hora de la corrida
- ✓ (VISSIM): versión del programa utilizada y
- ✓ La última fila de este encabezado, describe el grupo de semáforos de la intersección y el nombre del “Data collection Point” utilizado, en este caso por ejemplo el número 2. (esto es un contador virtual “colocado” en correspondencia con la línea de detención en el carril rápido).

En el cuadro de datos se observa que:

Cada línea se refiere a un ciclo. La primera columna identifica el instante en que inicia el verde en la simulación; esto es por ejemplo en el ciclo 5 se “prende” el verde a los 484 segundos del inicio de la simulación, para el ciclo 6 será $484+110 = 594$ segundos siendo el ciclo de 110 segundos.

La segunda columna contiene el tiempo transcurrido entre el inicio del verde y la llegada del primer vehículo al “Data Collection Point”; esto es en el ciclo 5 entre el instante que se inicia el verde y el instante en que pasa el vehículo por el contador virtual, el valor de 3,39 s.

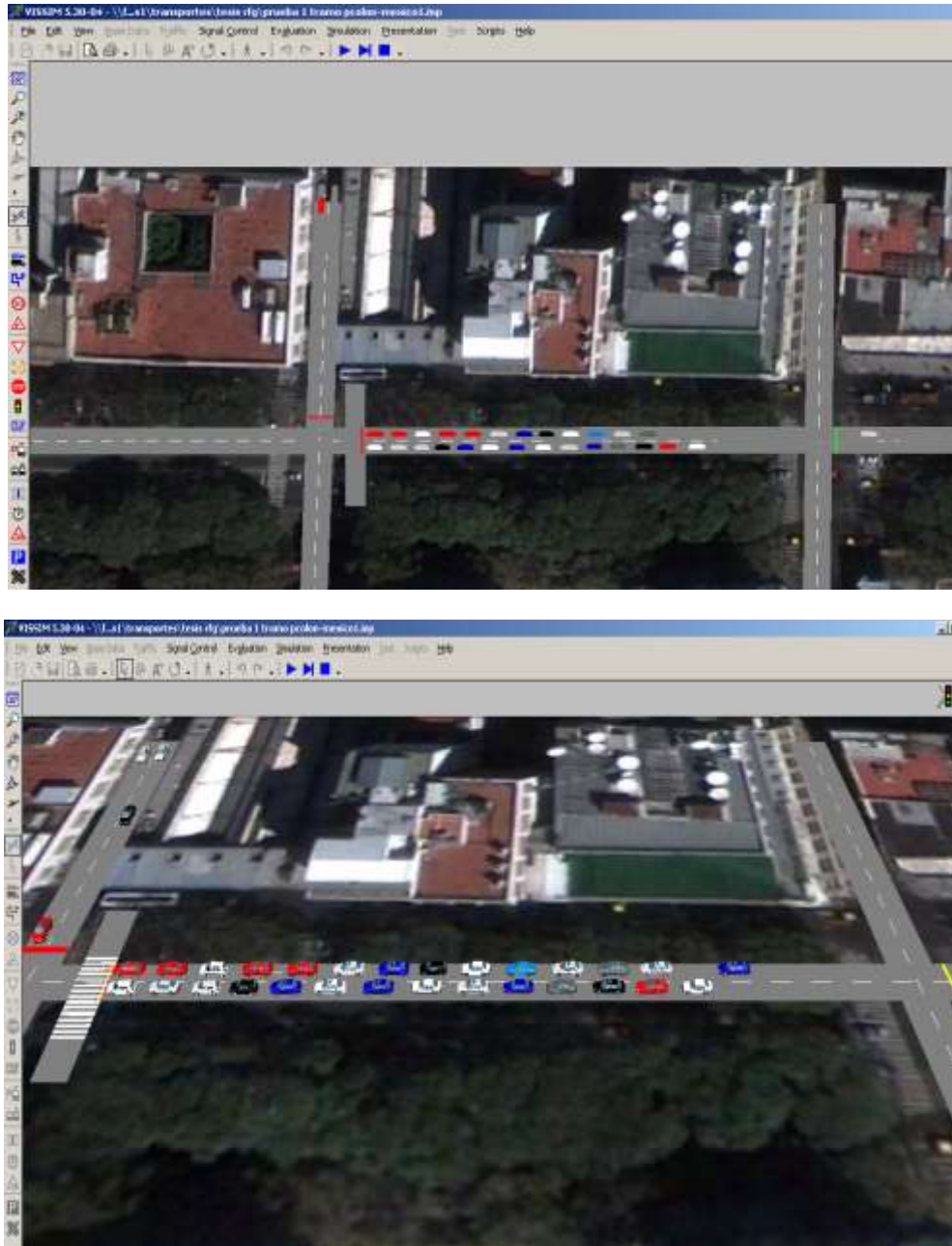
La tercera columna contiene el tiempo entre paragolpes delanteros del primer vehículo y del segundo vehículo en la cola, las siguientes columnas contienen las tasas de descarga de todos los vehículos según su posición en la cola.

Los números entre paréntesis al final de cada fila, muestran el número de vehículos que pasan durante el verde y el promedio de la tasa de descarga (ambos no incluyen la tasa de descarga del primer vehículo porque depende de la ubicación del contador), los valores después del paréntesis indican las tasas de descarga de los vehículos cruzando la línea de detención después del verde, durante el amarillo y aún en rojo.

Las últimas cuatro filas al final del cuadro, indican el número de la posición del vehículo medido en la cola para cada ciclo, el valor medio del headway para cada posición del vehículo en la cola de descarga, el número de vehículos medidos en esa posición en la cola y finalmente la

Figura 5.7

Salidas gráficas de la simulación de la intersección en estudio en 2D y 3D



Fuente: elaboración propia en base a programa VISSIM

Resultados obtenidos

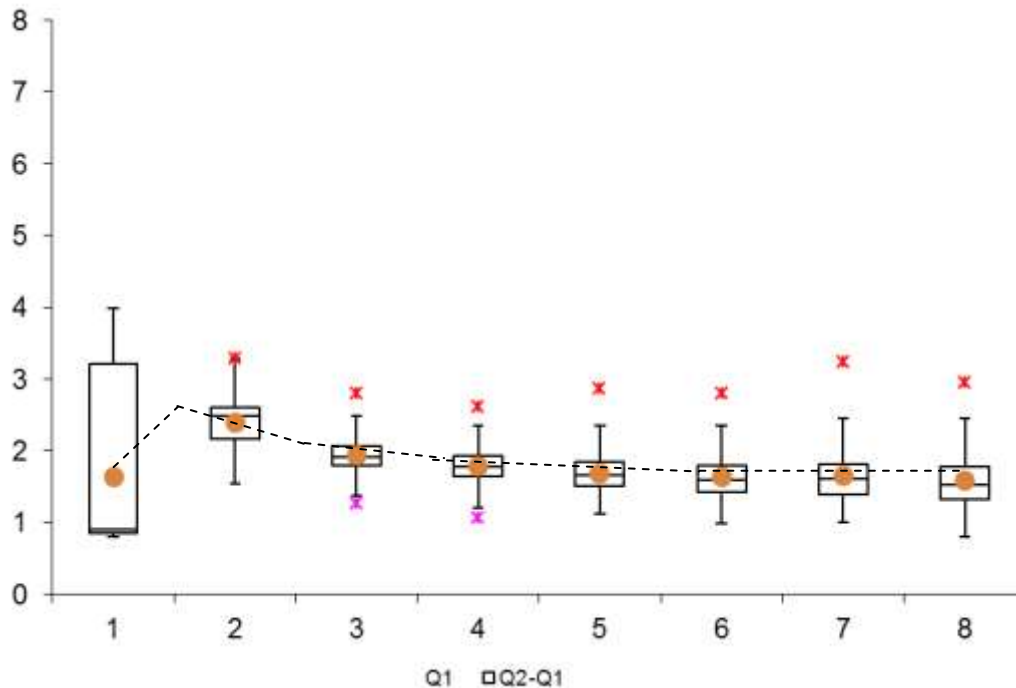
Es así entonces que se obtuvieron informes similares al de la Figura 5.6, para un total de 479 ciclos para la aceleración máxima por defecto $B_{\max} = 3,5 \text{ m/s}^2$ a partir de corridas con distintas semillas de inicio.

Esto se realizó para estudiar los efectos estocásticos del modelo, a partir de una semilla inicial de por ejemplo valor 42 ó 60, el modelo permite realizar múltiples corridas con un paso dado, se tomó por ejemplo el valor de 1 y guardar los sucesivos resultados de las corridas en informes de formato txt, que luego fueron volcados a una planilla Excel y mediante el proceso de Box-Plot ya mencionado, fue posible obtener la curva de distribución del intervalo en la cola, que se detalla en la Figura 5.7.

Luego, a los efectos de un análisis de calibración, se corrió el programa con las mismas condiciones, pero con una aceleración máxima $B_{\max} = 2,1 \text{ m/s}^2$, y de $1,8 \text{ m/s}^2$ su distribución en función de la velocidad que se aprecia en la Figura 5.8.

Figura 5.7

Distribución del intervalo según posición en la cola (s)
Según salida modelo Vissim
Bmax = 3,5 m/s² (default)



	Q1 □Q2-Q1							
Posicion en cola	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	0,8	1,54	1,27	1,06	1,12	0,99	1	0,8
Q ₁	0,85	2,16	1,79	1,64	1,505	1,43	1,395	1,33
Median	0,91	2,48	1,92	1,77	1,66	1,6	1,61	1,53
Q ₃	3,205	2,61	2,07	1,925	1,845	1,795	1,82	1,78
Max	3,99	3,29	2,79	2,61	2,87	2,8	3,23	2,95
IQR	2,355	0,45	0,28	0,285	0,34	0,365	0,425	0,45
Upper Outliers	0	1	9	8	15	17	17	11
Lower Outliers	0	0	2	3	0	0	0	0
N	479	479	479	479	479	479	479	479
Media	1,63	2,39	1,94	1,79	1,69	1,64	1,65	1,58
Desvio S	1,15	0,32	0,23	0,24	0,28	0,30	0,36	0,36
CV	70,33	13,27	11,61	13,30	16,61	18,61	21,76	22,53

For the Box (IQR and Median)

Q2-Q1	0,06	0,32	0,13	0,13	0,155	0,17	0,215	0,2
Q3-Q2	2,295	0,13	0,15	0,155	0,185	0,195	0,21	0,25

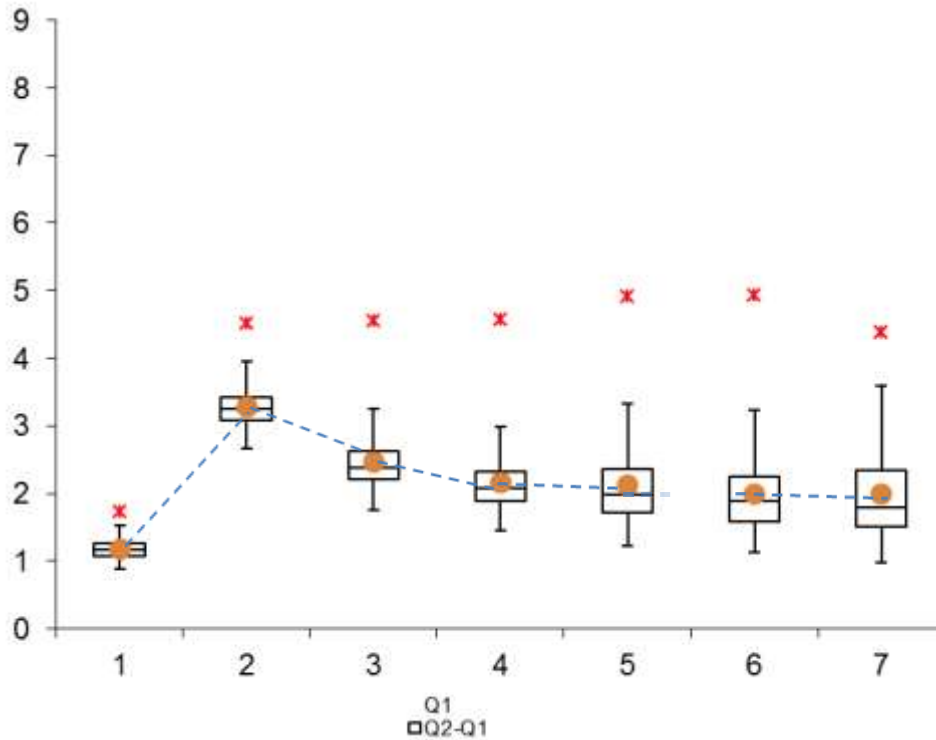
For the Whiskers

Q ₃ +1.5*IQR	6,7375	3,285	2,49	2,3525	2,355	2,3425	2,4575	2,455
Q ₁ -1.5*IQR	-2,6825	1,485	1,37	1,2125	0,995	0,8825	0,7575	0,655
Upper Whisker	3,99	3,285	2,49	2,3525	2,355	2,3425	2,4575	2,455
Lower Whisker	0,8	1,54	1,37	1,2125	1,12	0,99	1	0,8
W _{upper} -Q ₃	0,785	0,675	0,42	0,4275	0,51	0,5475	0,6375	0,675
Q ₁ -W _{lower}	0,05	0,62	0,42	0,4275	0,385	0,44	0,395	0,53

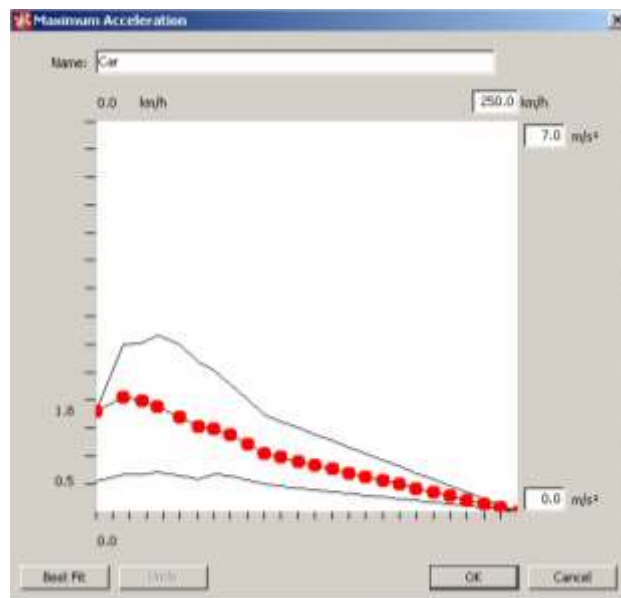
Figura 5.8

Distribución del intervalo según posición en la cola (s)
(según modelo Vissim)

$B_{max} = 1,8 \text{ m/s}^2$



Curvas de distribución de la aceleración ($B_{max} = 1,8 \text{ m/s}^2$)



Fuente: elaboración propia en base a programa VISSIM

Por último, resulta de interés en el marco de este trabajo y a fines comparativos encontrar las tablas de deciles del intervalo de saturación, asociadas a cada una de los casos citados precedentemente, donde se ha variado la aceleración máxima.

Pudiendo elaborar las tablas con los multiplicadores según las características del tipo de conductor (1 a 10), que se aprecian en la Tabla 5.4.

Tabla Nº 5.4

Comparación de tablas de deciles para el intervalo de saturación, obtenidas con corridas del Vissim variando la aceleración máxima (B_{max})

Intervalo de Saturación según Vissim $B_{max} = 3,5 \text{ m/s}^2$ (por defecto)											
Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Intervalo de saturación seg/veh	1,89	1,77	1,72	1,68	1,64	1,60	1,57	1,53	1,47	1,37	1,62
Intervalo de saturación en décimas de seg/veh	18,9	17,7	17,2	16,8	16,4	16,0	15,7	15,3	14,7	13,7	16,2
Multiplicador (%)	116	109	106	103	101	99	97	94	91	84	
Intervalo de Saturación según Vissim $B_{max} = 2,1 \text{ m/s}^2$											
Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Intervalo de saturación seg/veh	2,30	2,05	1,97	1,91	1,86	1,81	1,77	1,72	1,65	1,55	1,86
Intervalo de saturación en décimas de seg/veh	23,0	20,5	19,7	19,1	18,6	18,1	17,7	17,2	16,5	15,5	18,6
Multiplicador (%)	124	110	106	103	100	98	95	92	89	84	
Intervalo de Saturación según Vissim $B_{max} = 1,8 \text{ m/s}^2$											
Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Intervalo de saturación seg/veh	2,65	2,29	2,16	2,10	2,03	1,97	1,91	1,86	1,78	1,65	2,04
Intervalo de saturación en décimas de seg/veh	26,5	22,9	21,6	21,0	20,3	19,7	19,1	18,6	17,8	16,5	20,4
Multiplicador (%)	130	112	106	103	99	97	94	91	87	81	
Intervalo de Saturación según valores hallados con mediciones de tesis											
Características del Conductor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medio
Intervalo de saturación seg/veh	2,98	2,46	2,31	2,20	2,09	2,00	1,93	1,85	1,76	1,60	2,12
Intervalo de saturación en décimas de seg/veh	29,8	24,6	23,1	22,0	20,9	20,0	19,3	18,5	17,6	16,0	21,2
Multiplicador (%)	141	116	109	104	99	95	91	87	83	75	

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la distribución por deciles encontrada a partir de la aceleración dada por defecto en el programa de $3,5 \text{ m/s}^2$, presenta una distribución con un valor medio del intervalo de saturación de 1,62 s.

Luego, al variar la aceleración máxima a valores menores respecto del valor dado por defecto, se encuentra que con una aceleración de $1,8 \text{ m/s}^2$, se reproduce un valor del intervalo de saturación medio más moderado (2,04 s), cercano al encontrado en el trabajo (2,12 s) para

técnica Visual/Campo +Video y (2,02 s) para la técnica Automática/PVR. Asimismo, sigue notoriamente la distribución por deciles encontrada con las mediciones realizadas en este trabajo.

Esto implicaría como demostró Cortés, en el trabajo “Calibración de un Modelo de Microsimulación de Tránsito a las Condiciones Argentinas”.⁸, una verificación de la baja performance del parque automotor medio circulando en la Ciudad de Buenos Aires.

Conclusiones

- La curva de distribución de intervalos según la posición en la cola de descarga de una intersección semaforizada, con la que trabaja el TRAF NETSIM responde a la forma que explicita históricamente el Manual de Capacidad HCM.

La misma comienza con el primer headway h_{v-1} , que se corresponde con el Tiempo medio perdido en el arranque por defecto o cargado al modelo y luego los sucesivos headways tal como el h_{1-2} considerado como $h_s+0,5$ segundos y el h_{2-3} considerado como $h_s+0,2$ segundos y a partir de h_{3-4} en adelante directamente considerado como el intervalo de saturación (h_s).

- Comparando la tabla de deciles de los valores por defecto que trae el programa Traf Netsim y los valores encontrados a partir de las mediciones realizadas en este trabajo, se puede inferir que el intervalo de saturación muestra un perfil de distribución moderado y valor medio atenuado. (es decir 21,2 frente a 18 decimas de segundo/vehículo que trae el programa por defecto).
- Para el tiempo perdido en el arranque también se encuentra en la tabla de deciles, una distribución sesgada hacia los agresivos con un valor medio más impulsivo respecto al dado por defecto en el programa Traf Netsim (es decir 14,2 frente a 20 décimas de segundo/vehículo que trae el programa por defecto).
- El modelo VISSIM muestra que reproduce una curva de distribución de intervalos con una forma similar a la encontrada en esta tesis, donde el valor del primer intervalo h_{v-1} es menor respecto al segundo h_{1-2} , esto fue validado con un ejemplo desarrollado en la intersección piloto.

Por ello se tiene que el parámetro de la aceleración máxima B_{\max} es sensible en un proceso de calibración de la descarga en cola.

- De cara a un proceso de calibración del Vissim se encontró una forma expeditiva de realizarlo, a partir de la construcción de la tabla de deciles en función del parámetro de aceleración máxima (B_{\max}), que permite comparar con la correspondiente tabla de deciles obtenida a partir de datos relevados en campaña.

Palabras: 9957

Bibliografía

1. Akcelik, Rahmi (1998). *A Method for Measuring saturation flow and lost time* - Appendix E. Australian Road Research Board AAR 123. pp. 74-75
2. Berry, Donald S. and Gandhi P. K. (1973). *Headway Approach to Intersection Capacity*. Transportation Research Record 453. pp. 56-61
3. Bonnenson, James A. (1992). *Modeling Queued Driver Behavior at Signalized Junctions*. Transportation Research Record 1395. pp. 99-107
4. Bureau of Public Roads (1950), Highway Capacity Manual, Washington, DC.
5. Cal y Mayor, Rafael (1998) (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte en Bogotá, Colombia.
6. Cortés, J. A. Pablo (2010). *Capítulo 13 del Manual Principios de Ingeniería de Tránsito - Procedimientos para Simular y Optimizar el Tránsito. Aplicaciones de la Ingeniería de Tránsito*. Institute of Transportation of Engineers ITE. Washington, inédito.
7. Cortés, J. A. Pablo, Cortés, Carlos y Raño Sergio. (2005). *Entendiendo al Traf- Netsim*. Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires.
8. Cortés, J. A. Pablo y otros. (2005). *Calibración de un Modelo de Microsimulación de Tránsito a las Condiciones Argentinas*. Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica FONTAR (Agosta, Campana & Asociados), Buenos Aires.
9. Del Castillo Granados, José María (1994) *Una teoría del seguimiento entre vehículos*, Tesis de Doctorado en Ingeniería. Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.
10. Federal Highway Administration. (2004). *Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. FHWA. HRT-04-0040.
11. Federal Highway Administration. (2008). *Traffic Signal Timing Manual*. FHWA-HOP-08-024. <http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/index.htm>



12. Federal Highway Administration (1991) *PASSER II-90, User's Guide, Methodology for Optimizing Signal Timing: M/O/S/T*, Volume 3, Washington, D.C.
13. Federal Highway Administration. (1990). *Transyt 7-F Study Self Guide*. Pág. 4-14
14. Federal Highway Administration. *Manual del usuario Traf -NETSIM*. FHWA
15. Fellendorf, Martin. (1997) *Parametrization of microscopic Traffic Flow Models through Image Processing* 8th IFAC Symposium on Transport, Chania, Crete. June 1997
16. Finnish Road Administration (2002) *Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections*.
17. Galárraga Jorge, Herz Marcelo y Albrieu Laura. (2005) *Capacidad y Nivel De Servicio en Calles Urbanas*. Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Transporte de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Buenos Aires.
18. Gardeta Oliveros, Juan G. (1985) *Modelos de Tráfico Vial*. CEDEX. Ministerio de Fomento. España.
19. Greenshields, B.D., Shapiro, D., and Ericksen, E.L. (1947). *Traffic Performance at Urban Intersections*, Technical Report No. 1. Bureau of Highway Traffic, Yale University. New Haven.
20. Highway Research Board (1965), *Highway Capacity Manual*, HRB Special Report 87 (1965).
21. Institute of Transportation Engineers ITE (2003). *Manual of Transportation Engineering Studies*.
22. Journal of Transportation Research Board N° 1876. (2004). *Calibration and validation of Simulation Models*.
23. King Gerhart F. and Wilkinson M. (1976) *Relationship of Signal Design to Discharge Headway, Approach Capacity, and Delay*. Transportation Research Record 615. pp. 37-44.
24. May, A.D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
25. Mengual, Susana G. y Bocca Balza, Alfredo D. (2006) *Análisis y propuestas de posibles mejoras en accesos conflictivos del Gran San Juan a través de un modelo simulador de tránsito*. Universidad de San Juan – Congreso XVI de la SAIT, Rosario.
26. Niittymäki Jarkko, Pursula Matti. (1997) *Saturation Flows at Signal- Group-Controller Traffic Signals* TRR 1572 Transportation Research Board Washington D.C. pp 24-32
27. Luxardo, José D. (1955). *Capacidad de Caminos*, traducción al castellano de la versión 1950 del HCM Administración General de Vialidad Nacional.
28. Park, Byungkyu. Qi, Hongtu. (2004). *Development and evaluation of a calibration and validation procedure for microscopic simulation models*. VTRC.
<http://vtrc.viriniadot.org/PubDetails.aspx?PubNo=05-CR1>
29. Planung Transport Verkehr PTV. (2010). *Manual del usuario VISSIM versión 5.3*.
30. Quixote Traffic Corporation (2007). *ADR Plus User's Manual version 6.02*.
31. Radelat, Guido (2003) *Manual Principios de Ingeniería de Tránsito*. Institute of Transportation Engineers ITE.

32. Ramsay Euan D (2007) *Assessment and reduction of the impacts of large freight vehicles on urban traffic corridor performance*. PhD Thesis Queensland University of Technology
33. Road Research Laboratory RRL (1963). *A Method for Measuring Saturation flow at Traffic Signals*. Road Note 34.
34. Roess, Roger P., Prassas Elena S. and McShane William R. (2004) *Traffic Engineering* Third Edition. Pearson Prentice Hall.
35. Shui-Ying Wong. (1990) *TRAF-NETSIM, How It Works, What it Does*, ITE Journal April 1990
36. Stokes Robert W., Stover Vergil G. & Messer Carroll J. (1987). *Use and Effectiveness of Linear Regression to Estimate Saturation Flows at Signalized Intersections*. TRR 1091 Transportation Research Board Washington D.C. pp 95 -101
37. Tepply S. (1984, 2008) *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections*. ITE, District 7 – Canada and University of Alberta.
38. Tepply S., Jones A. M. (1991) *Saturation Flow: Do We Speak the Same Language*. TRR 1320 Transportation Research Board Washington D.C. pp 144-143
39. Torres Vallejo, María Verónica. (2009) *Plan de Tesis “Análisis de Intervalos en Carreteras Convencionales Rurales en la Argentina”*. Maestría en Ingeniería del Transporte Orientación Vial Facultad de Ingeniería UBA, Tutor MS. Ing. J. A. Pablo Cortés.
40. Transportation Research Board (1985), *Highway Capacity Manual*, Special Report 209.
41. Transportation Research Board (1994), *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, Third Edition
42. Transportation Research Board TRB. (2000). *Highway Capacity Manual*.
43. Transportation Research Board TRB. (2010). *Highway Capacity Manual*.
44. Virginia Transportation Research Council VTRC. (2006). *Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Handbook*. <http://faculty.virginia.edu/brianpark/SimCalVal/>
45. Wiedemann, Rainer. (1974) *Microscopic Traffic Simulation The Simulation System Mision*.
46. Webster, F.V. (1958). *Traffic signal settings*. Road Research Technical Paper N°39. London; HMSO.