

DIPLOMATURA D'ESTADÍSTICA

**CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE
MODELIZACIÓN EN EL SIMULADOR
DE TRÁFICO AIMSUN2**

Izquierdo Vigil, Miguel Ángel
Moreno Magdaleno, José Antonio

Director: J.L. Ferrer Cerdà

Mayo 1999

FACULTAT DE MATEMÀTIQUES I ESTADÍSTICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Biblioteca



1400313125

DADES DEL PROJECTE

Títol del Projecte: Calibración de parámetros de modelización en el simulador de tráfico SIMSUM2

Nom de l'estudiant: Miguel Angel IZQUIERDO VIGI

Titulació: Diplomatura d'Estadística

Crèdits: 12

Director/Ponent: Jaime-Lucas FERRER CERDA

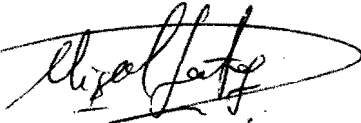
Departament: ID

MEMBRES DEL TRIBUNAL (nom i signatura)

President: Jaime Barco Bujeda



Vocal: Miguel Sánchez i Martí



Secretari: JAIME-LUCAS FERRER CERDA



QUALIFICACIÓ

Qualificació numèrica: 8

Qualificació descriptiva: NOTABLE

Data: 25 de maig de 1999

Agradecemos sinceramente la colaboración de los becarios Xavi, Dani, Gabri, Dídac, Helio, Sara y Jordi, y de los demás trabajadores del Laboratorio de Investigación Operativa y Simulación, en especial de nuestro director de proyecto, J. L. Ferrer.

Dedicamos este proyecto a los compañeros de la facultad, a nuestros padres, a nuestros amigos, y en especial a Montse y a Silvia.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
Facultad de Matemáticas y Estadística

**CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE
MODELIZACIÓN EN EL SIMULADOR
DE TRÁFICO AIMSUN2**

Proyecto de la Diplomatura de Estadística

ÍNDICE

Capítulo 0: Presentación

- Motivación y descripción del proyecto	2
- Objetivo del proyecto	2

Capítulo 1: La simulación

1.0 Introducción	5
1.1 El proceso de construcción de modelos	6
1.2 La simulación como proceso experimental	7
1.3 Metodología de un estudio de simulación	8
1.4 La simulación del tráfico	9
1.5 Referencias	10

Capítulo 2: El simulador AIMSUN2

2.0 Introducción	12
2.1 Datos de entrada necesarios	13
2.1.1 Descripción de la red de tráfico	13
2.1.2 Plan de control de tráfico	14
2.1.3 Condiciones de tráfico	14
2.2 Modelización de la estructura e infraestructura de la red	14
2.2.1 Definiciones	14
2.2.2 Elementos de control de tráfico	15
2.3 Modelización del tráfico	15
2.3.1 Clasificación de los vehículos	15
- Características físicas y otros parámetros de los vehículos	16
2.3.2 Flujos y proporciones de giro	17
- Generación y distribución de los vehículos	17

2.3.3 Procedimiento de actualización de vehículos	18
- Modelo ' Car-Following '	18
- Modelo ' Lane-Changing '	19
2.4 Modelización del control de tráfico	20
2.4.1 Semafórico	20
2.4.2 No semafórico	21
2.5 Resultados de la simulación	21

Capítulo 3: Modelos de simulación interurbanos simples

3.0 Introducción	24
3.1 Modelo free-flow	25
- Parámetros a estudiar y sus niveles	26
- Objetivos de la experimentación	27
3.1.1 Primer objetivo:	
- Determinación de la capacidad máxima	29
- Análisis de la capacidad máxima	34
3.1.2 Segundo objetivo:	
- Análisis de la velocidad media	35
- Comparación de los escenarios	38
3.1.3 Tercer objetivo:	
- Gráficos flujo-densidad y velocidad-densidad	48
3.2 Modelo speed reduction	51
- Parámetros del modelo y sus niveles	51
- Objetivo de la experimentación	52
- Resultados de la experimentación	53
- Estudio de la velocidad media	54
- Conclusiones	57

Capítulo 4: Simulación de una red de tráfico real	
4.0 Can Vidalet	60
4.1 Construcción del modelo	62
4.1.1 Descripción geométrica	63
4.1.2 Plan de control de tráfico	65
4.1.3 Condiciones de tráfico	69
4.2 Verificación del modelo	71
4.3 Validación del modelo	74
4.3.1 Procedimiento	74
4.3.2 Experimentación	76
4.3.3 Calibración del modelo	77
4.3.4 Comparación datos recogidos/simulados.....	81
- Flujos de entrada.....	81
- Proporciones de giro	83
- Tiempos de viaje	86
4.3.5 Conclusión	88
4.4 Listado de los resultados de la simulación	89
4.5 Aplicaciones	90
Capítulo 5: Ampliación del proyecto	92
Anexo 1:	
- Elección del nº de réplicas y generación de nº aleatorios	94
- Modelo free-flow	98
- Modelo reducción de velocidad	142
Anexo 2:	
- Información sobre las calles y los cruces de Can Vidalet	145
- Plantillas de recogida de datos	149

- Datos recogidos en la red	154
- Comparación gráfica de los datos recogidos y los simulados	163
- Resultados de la experimentación	166

Anexo 3:

- Bibliografía	170
- Presupuesto del proyecto	171

CAPÍTULO 0

Presentación del proyecto

MOTIVACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La acumulación de vehículos, sobretodo en las grandes ciudades y sus alrededores, provoca que la circulación no sea fluida y que en determinadas ocasiones, como por ejemplo en las horas punta, se produzcan embotellamientos nada agradables para el conductor.

Los responsables del tráfico, con el fin de solucionar este problema y otros muchos que se originan en nuestras carreteras, buscan la manera de optimizar los recursos que tenemos mediante la aplicación de nuevas tecnologías a la gestión del tráfico.

El objetivo de una nueva política de gestión es mejorar las condiciones de tráfico actuales, o en otras palabras descongestionar la circulación para reducir el tiempo de viaje medio y disminuir el riesgo de accidentes.

La simulación permite a los expertos o analistas del tráfico evaluar y comparar las diferentes propuestas definidas sin necesidad de experimentar sobre el sistema real, y les facilita la toma de decisiones.

Para que los resultados de la simulación sean válidos, el modelo debe reproducir fielmente los aspectos relevantes del sistema que se estudia, por eso es necesario conocer la influencia de los parámetros de entrada del modelo en la simulación.

OBJETIVO DEL PROYECTO

Estudiar la influencia de diversos parámetros, relacionados con los modelos de comportamiento de vehículos, en los resultados producidos por el simulador AIMSUN2.
--

El proyecto constará de dos partes:

- en la primera realizaremos, sobre diversos modelos interurbanos ficticios, los experimentos de simulación necesarios para determinar la influencia de algunos parámetros de entrada en los outputs del simulador.

Técnicas estadísticas más relevantes: diseño de experimentos y el análisis de resultados.

- y en la segunda modelizaremos la red de tráfico de Can Vidalet (Esplugues de Llob.) con el fin de aplicar los conocimientos sobre calibración adquiridos anteriormente.

Técnicas estadísticas más relevantes: recogida de datos y comparación de datos reales/simulados.

CAPÍTULO 1

La Simulación

1. LA SIMULACIÓN

Antes de adentrarnos en el proyecto realizamos una breve introducción a la simulación, con la intención de familiarizar al lector con el tema.

1.0 Introducción

La simulación es una técnica que consiste en construir un modelo de un sistema, real o propuesto, y ejecutarlo en un ordenador para observar su evolución en el tiempo (Law and Kelton, 1991).

La necesidad de estudiar un proceso del mundo real, llamado generalmente sistema, nos obliga a hacer un conjunto de abstracciones para ver como se comporta. Estas abstracciones, que toman normalmente la forma de relaciones matemáticas o lógicas, constituyen un modelo que se utiliza para intentar comprender su comportamiento.

Cuando las relaciones que constituyen el modelo son suficientemente simples, podemos utilizar un modelo analítico para obtener información exacta sobre cuestiones de interés. No obstante, la mayoría de los sistemas del mundo real son demasiado complejos para evaluarlos analíticamente, y son estos modelos los que estudia la Simulación. A diferencia de los modelos analíticos, la simulación no proporciona soluciones matemáticas exactas sino que sirve para generar muestras representativas de las medidas de rendimiento del sistema en estudio.

Uno de los problemas de los estudios radica precisamente en este último punto. Los modelos utilizados para estudiar los sistemas de gran escala tienden a ser muy complejos, y construir programas para implementarlos y ejecutarlos se convierte en una labor muy costosa.

Mediante la experimentación con el modelo de simulación se podrán extraer inferencias válidas sobre el comportamiento del sistema a partir de los resultados obtenidos en la ejecución del modelo en un computador.

Los estudios de simulación tienen frecuentemente como objetivo ayudar a entender mejor el comportamiento del sistema objeto del estudio, así como evaluar los efectos que los cambios en los parámetros que regulan el sistema tienen en el funcionamiento del mismo.

Hoy día la simulación se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas y potentes para el análisis y diseño de sistemas, debido en gran medida a que :

- Muchos de los sistemas complejos del mundo real no pueden ser representados mediante un modelo matemático que pueda ser evaluado analíticamente.

- Permite evaluar y comparar propuestas alternativas de diseño.
- Permite la realización de experimentos sin interferir en el mundo real, cosa muy valorada. De hecho, un modelo de simulación puede entenderse como un laboratorio de experimentación sobre un sistema real sin necesidad de manipularlo físicamente.
- El sistema puede ser estudiado bajo diferentes escalas temporales.

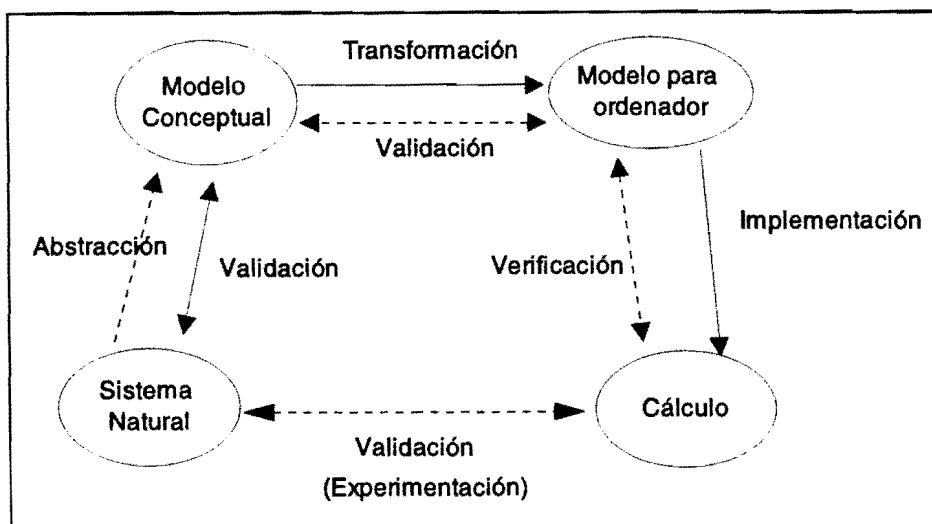
1.1 El proceso de construcción de modelos

El análisis de un sistema a través de un modelo implica que la representación del sistema que constituye el modelo ha de ser manipulable numéricamente. La construcción de un modelo se inicia por la definición del modelo conceptual del sistema, representación equivalente lógica del sistema real que, como tal, constituye una abstracción simplificada del mismo, y se continua con la traducción de éste en un modelo apto para su ejecución en un ordenador (Barceló, 1996).

El proceso de modelización o construcción del modelo implica:

- Identificación de las entidades principales del sistema y de sus atributos característicos.
- Identificación y representación de las reglas que gobiernan el sistema que se quiere simular.
- Captación de la naturaleza de las interacciones lógicas del sistema que se modeliza.
- Verificación de que las reglas incorporadas al modelo son una representación válida de las del sistema que se modeliza.
- Representación del comportamiento aleatorio.

El proceso de modelización se puede representar con la siguiente figura:

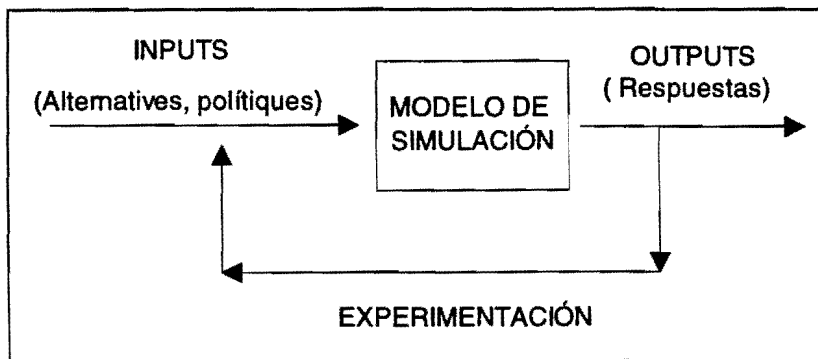


PROCESO DE MODELIZACIÓN

1.2 La Simulación como proceso experimental

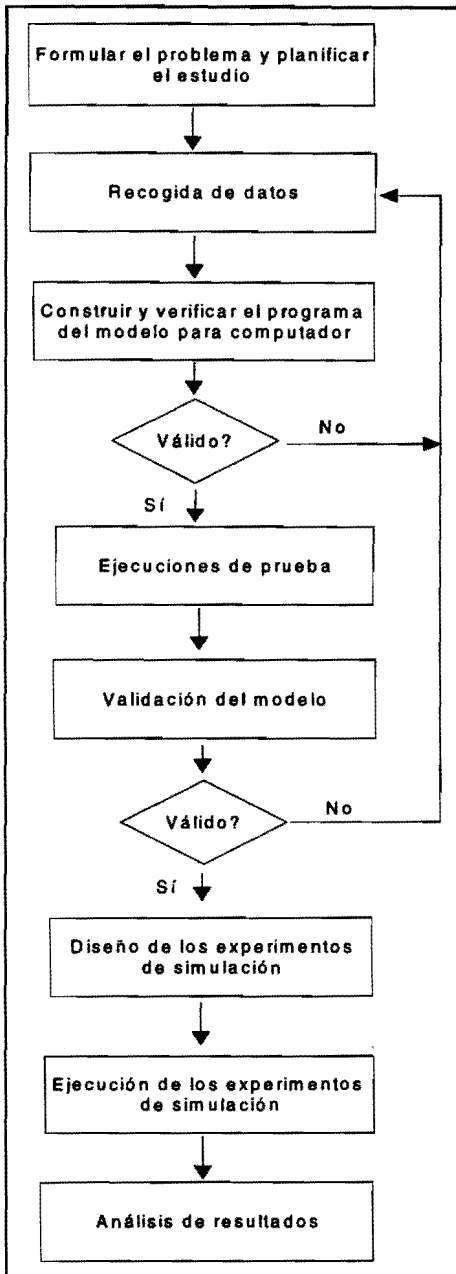
La práctica de la simulación es una técnica que no realiza ningún intento específico para aislar las relaciones entre variables particulares; adopta un punto de vista global desde el que se intenta observar como cambian conjuntamente todas las variables del modelo con el tiempo. Esta concepción caracteriza la simulación como una técnica experimental de resolución de problemas, lo que comporta la necesidad de repetir múltiples ejecuciones de la simulación para poder entender las relaciones implicadas por el sistema, en consecuencia el uso de la simulación en un estudio debe planificarse como una serie de experimentos cuyo diseño debe seguir las normas del diseño de experimentos para que los resultados obtenidos puedan conducir a interpretaciones significativas de las relaciones de interés (Barceló, 1996).

La simulación es por tanto una técnica que realiza experimentos en un computador con un modelo de un sistema dado. El modelo es el vehículo utilizado para la experimentación en sustitución del sistema real. Los experimentos pueden llegar a tener un alto grado de sofisticación que requiera la utilización de las técnicas estadísticas de diseño de experimentos. En la mayor parte de los casos los experimentos de simulación son la manera de obtener respuestas a preguntas del tipo “¿ qué pasaría si....?”, preguntas cuyo objetivo suele ser evaluar el impacto de una posible alternativa que sirve de soporte a un proceso de toma de decisiones sobre un sistema, proceso que puede representarse esquemáticamente mediante el diagrama de la figura siguiente:



Esquema del proceso experimental de la simulación

1.3 Metodología de un estudio de Simulación



Etapas de un estudio de Simulación

Los pasos básicos en un estudio de simulación son los siguientes:

1. Definición del problema y planificación del estudio.
2. Recogida de datos.
3. Formulación del modelo matemático.
4. Construcción y verificación del programa para computador del modelo.
5. Ejecuciones de prueba del modelo.
6. Validación del modelo.
7. Diseño de los experimentos de simulación.
8. Ejecución de los experimentos.
9. Análisis de los resultados.

El proceso es iterativo, y algunos de los pasos pueden repetirse en función de los resultados intermedios.

Ningún estudio de simulación puede llevarse a cabo sin establecer claramente una definición precisa del problema que se pretende resolver y los objetivos del estudio. Los diseños alternativos del sistema que se quieren estudiar se deben especificar claramente, así como los criterios para evaluarlos. Éstos servirán de base al proceso de toma de decisiones para elegir uno de los diseños. Para la formulación del modelo debe establecerse su estructura definiendo cuales son los aspectos del funcionamiento del sistema que son significativos para la resolución del problema que tenemos entre manos, y qué datos es necesario coger para proporcionar al modelo la información adecuada (Barceló, 1996).

La construcción del modelo de simulación es en muchos casos más un arte que una ciencia, que combina aspectos matemáticos y lógicos. En general la experiencia recomienda empezar con modelos moderadamente detallados que paulatinamente se van haciendo más sofisticados. El modelo únicamente debe contener el nivel de detalle requerido por los objetivos del estudio.

Dado un modelo matemático la construcción del programa para computador es el requisito imprescindible para poder manipular numéricamente el modelo para obtener las soluciones que respondan a las preguntas que el analista se formule sobre el sistema.

La validación es uno de los pasos cruciales del proceso, suele ser uno de los más difíciles, pero es un requisito imprescindible para establecer si el modelo representa o no adecuadamente el sistema del estudio, de manera que se puedan garantizar las inducciones y extrapolaciones sobre el comportamiento del sistema a partir de lo observado sobre el modelo.

Esta etapa de la modelización consiste en comparar los resultados de la simulación con los datos reales que se poseen sobre el sistema. Cuanto mejor es el modelo mayor es el grado de similitud entre estas dos variables.

La calibración es un aspecto fundamental en la creación de modelos de simulación válidos, ya que ésta permite, mediante la combinación de los valores de los parámetros, que el modelo represente fielmente el sistema real. Por eso conocer la influencia de los parámetros en los outputs de la simulación agilizará el proceso de modelización.

Diseñar los experimentos comporta, como se ha comentado anteriormente, aplicar rigurosamente las técnicas observacionales de la estadística, propias del método científico, que permitan garantizar la significación de las respuestas producidas por la ejecución del programa que implanta el modelo en el computador.

1.4 La Simulación de Tráfico

Desde la aparición de los primeros computadores electrónicos se pensó que la simulación por ordenador era una herramienta particularmente útil para los estudios de tráfico, ya que permite analizar el comportamiento de éste ante diferentes estrategias de control y políticas de gestión. Desde entonces se han ido construyendo gran variedad de simuladores que han ido evolucionando con las nuevas tecnologías que iban surgiendo.

Hoy día, para los simuladores de tráfico existen tres enfoques alternativos para su modelización: modelización macroscópica, modelización mesoscópica y modelización microscópica.

Los modelos macroscópicos de tráfico proporcionan una visión dinámica del comportamiento del flujo basándose en la analogía existente entre el flujo de tráfico y el tratamiento hidrodinámico de los fluidos, en el cual, se utilizan variables macroscópicas agregadas tales como, la densidad de tráfico, el volumen del tráfico y la velocidad media. La modelización mesoscópica considera que el flujo de tráfico está compuesto por paquetes de vehículos y describen la dinámica de éstos

mediante variables agregadas. Por último, la modelización microscópica (que es la que utiliza el programa AIMSUN2), que considera el comportamiento individual de cada vehículo que compone el flujo de tráfico y lo reproduce mediante modelos de seguimiento de vehículos y cambio de carril.

La modelización macroscópica es apropiada para el tratamiento de grandes redes donde no sea necesario un gran nivel de detalle, mientras que la modelización microscópica permite una representación más detallada de la red de tráfico, lo cual hace posible el tratamiento de cualquier sistema de control, detección y gestión de tráfico. Los modelos mesoscópicos son adecuados para redes de un tamaño intermedio y permiten alcanzar un nivel de detalle suficiente para tratar aspectos de control no abordables con los macroscópicos.

1.5 Referencias

- Barceló, J.: *Simulación de sistemas discretos*. Ed. Isdefe, 1996.
- Law, A. M & Kelton, W. D.: *Simulation Modeling and Analysis*. Ed. McGraw-Hill, 1991.

CAPÍTULO 2

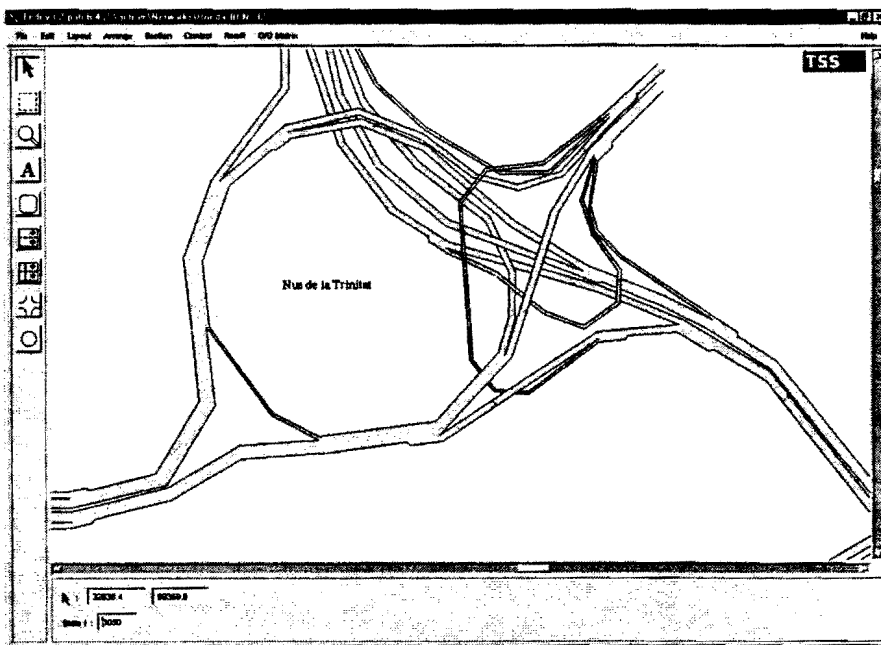
El simulador AIMSUN2

2. EL SIMULADOR AIMSUN2

El simulador de tráfico con el que trabajaremos se llama AIMSUN2 y se ha desarrollado en el Laboratorio de Investigación Operativa y Simulación de la Facultad de Matemáticas y Estadística de la UPC (Dpto EIO).

AIMSUN2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) es un simulador de tráfico microscópico capaz de reproducir las condiciones reales de tráfico de cualquier red urbana e interurbana, modelando individualmente el movimiento de cada vehículo mediante modelos de comportamiento, permitiendo así una representación detallada de la red viaria y del tráfico que por ella circula. Su utilidad principal es la de servir de banco de pruebas de nuevos sistemas de control y políticas de gestión de tráfico.

La estructura de AIMSUN2 está integrada en el entorno de simulación GETRAM, destinado a dar soporte a múltiples modelos. GETRAM consta básicamente de un editor gráfico para especificar la geometría de las redes, llamado TEDI (Traffic Editor), una BD de redes y sus funciones de acceso y un modelo de simulación microscópica, llamado AIMSUN2. La figura siguiente muestra una interfaz gráfica del Tedi:



Los datos de entrada que requiere AIMSUN2 son: la descripción geométrica de la red, el plan de control de tráfico (semáforos, señales, etc.) y las condiciones de tráfico a simular (flujos de vehículos y proporciones de giro), y un conjunto de parámetros que definen la simulación a realizar, como por ejemplo, el tiempo de simulación, las estadísticas a recoger, etc.

Durante la simulación AIMSUN2 proporciona la representación gráfica del funcionamiento de la red de forma continua y animada, y un conjunto de ficheros con las estadísticas recogidas (flujos, velocidades medias, tiempos de viajes, densidad, demoras, etc), en definitiva, toda una serie de medidas estadísticas sobre el rendimiento del sistema.

La información almacenada en los ficheros se especifica en diferentes niveles de agregación: para todo el sistema, para todas sus secciones y para todas las rutas que se hayan definido en la red, entendiéndose como ruta un conjunto de secciones consecutivas.

2.1 Datos de entrada necesarios

Los datos de entrada que son necesarios pueden agruparse en tres categorías: la descripción de la red, el plan de control y las condiciones de tráfico. Tanto el plan de control como las condiciones de tráfico pueden ser fijas o variables a lo largo del tiempo.

2.1.1 Descripción de la red de tráfico

Nos proporciona información no solo sobre la geometría o estructura de la red sino también sobre los elementos de infraestructura que sobre ella se encuentran.

La información geométrica es la siguiente:

- La disposición de los arcos (secciones) y nodos (cruces).
- Número de carriles y su longitud para cada sección.
- Giros permitidos en cada cruce, incluyendo detalles sobre cuales son los carriles desde los cuales se puede realizar cada giro.
- Velocidades máximas para cada sección.
- Un mapa digitalizado (formato dxf) es altamente recomendable para ser utilizado como fondo por el editor Tedi.

La información de infraestructura de la red, que es opcional, es la siguiente:

- Señales de Control: localización de los semáforos, señales de “ceda-el-paso” y “stop”, y rampas de control de accesos (ramp-meterings).
- Detectores de tráfico: localización y capacidad de medida.
- Paneles de Información Variable

2.1.2 Plan de control de tráfico

El plan de control será solo necesario cuando la red disponga de la infraestructura necesaria. Está compuesto por:

- Cruces semaforizados: la secuencia de fases, la duración de cada una y la definición de los giros permitidos por cada fase.
- Cada ramp-metering: tipo y parámetros de control.

2.1.3 Condiciones de tráfico

Las condiciones de tráfico de la red vienen determinadas por las siguientes variables :

- Tipos de vehículos que componen el tráfico y sus características físicas, tales como velocidad, aceleración, etc.
- Volumen de tráfico en las secciones de entrada a la red para cada tipo de vehículo.
- Proporciones de giro para todas las secciones de la red y para cada tipo de vehículo.

2.2 Modelización de la estructura e infraestructura de la red de tráfico

2.2.1 Definiciones

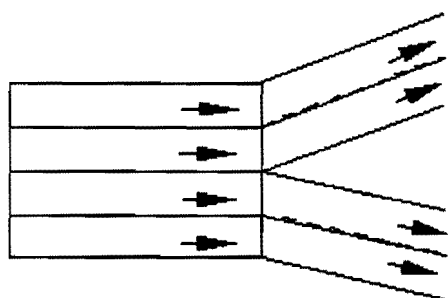
- **Red de tráfico:** conjunto de secciones y nodos conectados entre sí.
- **Sección:** conjunto de carriles adyacentes, con el mismo sentido de circulación, que conectan dos cruces, o un cruce y otra sección, o simplemente con otras dos secciones.

Cada sección tiene asociado un conjunto de giros factibles (conexiones con otras secciones), para indicar los movimientos que se pueden realizar desde cada uno de los carriles, y una velocidad máxima permitida de circulación. Ésta, generalmente se determina en función del tipo de vía que se pretende simular (urbana, interurbana, autopista, etc.) y de su geometría (anchura, curvatura, pendiente, etc.).

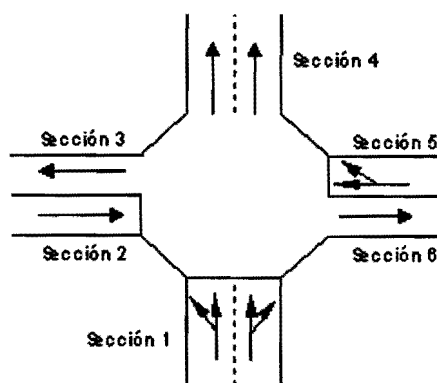
- **Nodo:** punto de la red donde el tráfico de una sección se distribuye entre otras secciones, o en otras palabras intersección entre dos o más secciones.

Cada conexión, realizada a través de un nodo, entre una sección entrante y otra saliente se denomina giro. Cada giro tiene asociada una velocidad máxima que puede ser definida por el usuario o bien calculada automáticamente por el Tedi en función de las velocidades de las secciones que componen el giro y la geometría del mismo.

Cada giro también tiene asociada una prioridad de paso, que depende de la señalización de la vía que se quiere modelizar.



Nodo de conexión directa



Nodo tipo cruce

2.2.2 Elementos de control de tráfico

Cualquiera de los elementos básicos de la infraestructura necesaria para el control de tráfico que podemos encontrar en una red de tráfico real también pueden aparecer en un modelo AIMSUN2. Éstos son los siguientes:

- **Semáforos:** Están siempre asociados a nodos de tipo cruce y se supone que la línea de parada se encuentra colocada al final de las secciones incidentes. No se definen de forma individual (para cada calle o giro) sino que se define el conjunto de semáforos de todo un cruce mediante la especificación de las fases en que se divide el ciclo semafórico y el conjunto de giros permitidos en cada una.
- **Señales de tráfico.** Se contemplan dos tipos de señales para definir las prioridades de paso en los cruces no semaforizados: el “ceda-el-paso” y el “stop”. Las señales van siempre asociadas a giros individuales, no a secciones, de nodos de tipo cruce.

2.3 Modelización del tráfico

2.3.1 Clasificación de los vehículos

AIMSUN2 permite diferenciar tipos de vehículos. Los diferentes tipos se determinan en función de las características físicas y del comportamiento de los vehículos (taxis, turismos, autobuses, camiones, motocicletas, etc).

Tanto las características físicas como los parámetros de comportamiento se definen fijando el valor central y la desviación de la ley normal que los generará. Y siempre que sea necesario el máximo y el mínimo de la distribución.

Características físicas y otros parámetros del comportamiento de los vehículos

- Longitud y anchura (metros)
- Aceleración máxima (m/s^2)
- Deceleración normal (m/s^2)
- Deceleración máxima (m/s^2)

Estos parámetros son utilizados en ambos modelos de comportamiento (car-following y lane-changing) y representan las diferentes características físicas de cada tipo de vehículo. Por otro lado, hay un conjunto de parámetros que también afectan al comportamiento de los vehículos:

- Velocidad máxima deseada: es la velocidad máxima en km/h que puede llegar a alcanzar un vehículo en cualquier punto de la red.
- Nivel de aceptación de velocidad: este parámetro se puede interpretar como el nivel de bondad de los conductores o grado de aceptación del límite de velocidad. La velocidad deseada para un vehículo i en una sección s , $v_d(i,s)$, está calculado como sigue:

$$v_d(i,s) = \text{MIN} [v_{\max}(s) \times \theta, v_d] \text{ donde } \theta \geq 0.$$

donde $v_{\max}(s)$ es el límite de velocidad para la sección s , $v_d(i)$ es la velocidad deseada para el vehículo i , y θ es el coeficiente de aceptación de la velocidad. Por ejemplo, si θ es igual a 1 todos los conductores seguirán la velocidad recomendada en la sección.

Si $\theta > 1$ los vehículos no respetarán la velocidad máxima establecida en la vía, y si $\theta < 1$ siempre circularán por debajo del límite de velocidad.

- Distancia mínima entre vehículos. Es la distancia en metros que un vehículo debe guardar respecto al vehículo que le precede cuando está parado.
- Tiempo de reacción del conductor: es el tiempo que tarda un conductor en reaccionar a los cambios de velocidad del vehículo que le precede. Se usa en el modelo car-following y por razones de implementación es también utilizado como ciclo de simulación. Se recomienda un valor entre 0.5 y 1 segundo (se suele sugerir 0.75).

Estos parámetros los puede establecer el usuario dependiendo de las características de tráfico que se quieran reproducir. Por ejemplo, el comportamiento de los conductores en una red urbana es diferente del comportamiento en una autopista: el modelo básico es el mismo pero las variables como velocidad deseada o tiempos de reacción son diferentes. Estos parámetros pueden también variar de un país a otro de un entorno a otro (rural, urbano). La determinación de valores apropiados para estos parámetros es parte del proceso de calibración del modelo.

2.3.2 Flujos y proporciones de giro

Las características del tráfico a simular vienen determinadas mediante los valores de los flujos en las secciones de entrada y las proporciones de giro en las secciones internas de la red. La descripción de estos flujos para cada tipo de vehículo puede obtenerse como resultado de una asignación previa o a partir de los datos de aforos recogidos mediante detectores. También pueden utilizarse valores arbitrarios a modo de hipótesis para evaluar el funcionamiento de la red en condiciones particulares.

Los flujos medios y las proporciones de giro pueden ser fijos o variables en función del tiempo.

Generación y distribución de vehículos

Los vehículos son generados e introducidos en la red a través de las secciones de entrada, siguiendo un modelo aleatorio de generación basado en el valor del flujo medio de entrada a la sección. Posteriormente son distribuidos aleatoriamente en la red según las probabilidades de giro definidas en cada sección interna. Los vehículos no tienen "conocimiento" de su ruta completa, solo saben cual es el giro que realizarán al llegar al próximo nodo.

Los intervalos entre llegadas se determinan a partir del flujo medio de la sección de entrada, mediante una distribución exponencial negativa desplazada. El carril de entrada en la sección dependerá del estado de los carriles en el momento de la llegada, de la existencia de carriles selectivos y de la modalidad del vehículo. Un vehículo no puede entrar en un carril si no hay espacio suficiente, es decir, que su predecesor está a una distancia aceptable, que dependerá de la velocidad de ambos. La velocidad de entrada de un vehículo será función de su velocidad deseada y de la velocidad del predecesor.

El simulador permite asociar probabilidades de giro distintas en función de la sección de procedencia de los vehículos, pero nosotros con el fin de simplificar la recogida de datos y la construcción del modelo no haremos esta distinción.

2.3.3 Procedimiento de actualización de vehículos

Los vehículos durante su viaje por la red se actualizan según los modelos de comportamiento “car-following” y “lane-changing”. Los vehículos tienden a circular a su velocidad deseada en cada sección, pero su comportamiento estará condicionado por su entorno (vehículos precedentes y adyacentes, semáforos, obstrucciones, señales de tráfico).

Modelo de seguimiento entre vehículos (Car-Following)

El modelos de seguimiento entre vehículos que utiliza AIMSUN2 está basado en el modelo de Gipps (1981). Básicamente consta de dos componentes: una de aceleración que representa el intento de conseguir una determinada velocidad deseada y otra de deceleración que contempla las limitaciones impuestas por la presencia del vehículo predecesor.

El modelo establece que, la velocidad máxima a la que un vehículo (n) puede acelerar en un periodo de tiempo (t, t+T) viene determinada por:

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

donde:

- V(n,t) es la velocidad del vehículo n en el instante t;
- V*(n) es la velocidad deseada por el vehículo n en la sección actual;
- a(n) es la aceleración máxima deseada del vehículo n;
- T es el tiempo de reacción = intervalo de actualización = ciclo de simulación.

Por otro lado, la velocidad máxima que el vehículo n puede alcanzar en el intervalo (t,t+T) dadas sus características y las limitaciones impuestas por la presencia del vehículo precedente es:

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]}$$

donde:

- d(n) (<0) es la máxima deceleración que el vehículo n desea realizar;
- x(n,t) es la posición del vehículo n en el instante t;
- x(n-1, t) es la posición del vehículo precedente (n-1) en el instante t;
- s(n-1) es la longitud efectiva del vehículo (n-1);
- d'(n-1) es una estimación de la deceleración deseada del vehículo (n-1).

En cualquier caso, la velocidad definitiva del vehículo n en el intervalo $(t, t+T)$ se calcula según la expresión:

$$V(n, t + T) = \min \{ V_a(n, t + T), V_b(n, t + T) \}$$

Finalmente, la posición del vehículo n se actualiza utilizando esta velocidad en la ecuación del movimiento:

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T)T$$

Por razones de eficiencia, el tiempo de reacción del vehículo (T) se toma igual al tiempo de ciclo o paso de simulación (Δt). Este valor puede ser fijado por el usuario dentro del rango $(0.5, 1.25)$. Experimentalmente se han obtenido los mejores resultados con el valor $\Delta t = 0.75$ seg.

Modelo de cambio de carril (Lane-Changing)

El modelo de cambio de carril utilizado es una adaptación del modelo de Gipps (1986). Consta de dos componentes básicas: un modelo de decisión que permite decidir si cambiar o no de carril, y un modelo de movimiento que efectúa el cambio de carril. El modelo de decisión intenta reproducir el comportamiento del conductor de la siguiente forma:

- Cada vez que se actualiza un vehículo se plantea la pregunta: ¿Es necesario cambiar de carril ?
La respuesta a esta pregunta depende de varios factores: permisibilidad de giro del carril actual, distancia a la que se encuentra el próximo giro y condiciones de circulación del carril actual. Las condiciones de circulación se miden en términos de velocidad y longitud de colas. Cuando un vehículo está circulando a una velocidad menor de la deseada intentará adelantar al vehículo precedente. Por otro lado, cuando un vehículo está circulando lo suficientemente rápido en su carril intentará, si es posible, cambiar a un carril más lento para dejar paso a posibles vehículos más rápidos.
- En caso de respuesta afirmativa a la anterior pregunta, para que el intento de cambio de carril tenga éxito se deben poder responder afirmativamente a dos preguntas más:
 - ¿ Es deseable el cambio ? . Consiste en comprobar si se conseguirá alguna mejora en las condiciones de tráfico del conductor como resultado del cambio de carril. Esta mejora se mide en términos de velocidad y longitud de cola. Es decir, si la velocidad en el futuro carril es lo suficientemente más rápida que la del carril actual o si la cola es lo suficientemente más corta, entonces será deseable cambiar de carril.
 - ¿ Es posible realizar el cambio ? . Consiste en verificar si existe espacio suficiente para realizar el cambio con completa seguridad para los vehículos implicados. Para ello, una vez comprobada la existencia de un hueco en el tráfico del carril adyacente, calculamos

tanto la posible frenada impuesta por el futuro vehículo predecesor al vehículo que cambia como la frenada que provocaría el vehículo que cambia, en su futuro sucesor. Si ambas frenadas son aceptables, el cambio de carril es posible.

AIMSUN2 puede aplicar el modelo de cambio de carril a vehículos que circulan tanto en una sección como en un cruce.

2.4 Modelización de control de tráfico

Se contemplan diferentes tipos de control de tráfico: control semafórico (fijo y variable), control no semafórico (señales de ceda-el-paso y stop) y control de rampas de acceso (ramp-metering). Los dos primeros se aplican a secciones que acceden a nodos de tipo cruce y el último a secciones que acceden a nodos de tipo conexión directa.

2.4.1 Control Semafórico

Para la definición del control semafórico, AIMSUN2 aplica un enfoque basado en fases. El ciclo semafórico de un cruce está dividido en fases, cada una de las cuales tiene definido un conjunto de giros con derecho de paso.

En un cruce pueden aparecer conflictos entre diferentes movimientos o giros a los que se otorga derecho de paso simultáneamente, en la misma fase. Para establecer prioridades entre ellos se pueden definir además preferencias de paso mediante la colocación de señales de ceda-el-paso a los movimientos menos prioritarios.

La estructura básica del plan de control semafórico de una red simulada por AIMSUN2 viene determinada por los siguientes parámetros:

- Para cada nodo tipo cruce: tipo de control utilizado.
- Para cada nodo semafórico: número de fases de que constará el ciclo semafórico.
- Para cada fase: conjunto de movimientos o giros permitidos.
- Si en una fase existen conflictos (movimientos cuya trayectorias se cruzan), definición de las prioridades de paso entre ellos.

Durante la simulación de un escenario no se puede modificar la estructura del plan de control, sin embargo sí es posible modificar el plan de control implementado que se define por la duración de cada una de las fases.

2.4.2 Control No Semafórico

Para establecer las prioridades de paso en un cruce no semaforizado se utilizan las señales de tráfico. Una señal va asociada a un giro o movimiento factible en un cruce. Los vehículos que realicen giros que no tengan asociada señal alguna tendrán preferencia de paso mientras que los que tengan una señal asociada deberán ceder el paso a los vehículos más prioritarios.

AIMSUN2 incluye dos modelos de control no semafórico de cruces, uno para cada tipo de señal: ceda-el-paso y stop.

2.5 Resultados de la Simulación

Además de la animación gráfica, AIMSUN2 también produce como salida de la simulación un conjunto de resultados estadísticos. Las medidas estadísticas proporcionadas pueden obtenerse agregadas de diferente manera: para toda la red, para cada sección, para cada giro y para rutas (un conjunto de secciones consecutivas).

Las estadísticas que estudiaremos a nivel de toda la red son las siguientes:

- **Flujo medio (veh/h):** número medio de vehículos por hora que han atravesado la red durante el periodo simulado. Los vehículos son contados en el momento que salen de la red a través de alguna sección de salida.
- **Densidad (veh/Km):** número medio de vehículos por kilómetro en toda la red.
- **Velocidad media:** se calcula a partir de las velocidades medias de viaje de todos los vehículos que han salido del sistema.
- **Tiempo de viaje:** tiempo medio que necesita un vehículo para recorrer un Km en la red. Se calcula como la media aritmética de los tiempos de viaje individuales de cada vehículo que sale de la red, convertida en tiempo por kilómetro.
- **Tiempo de demora:** tiempo medio de demora por vehículo por kilómetro. Se define como la diferencia entre el tiempo esperado de viaje (tiempo que tardaría un vehículo en atravesar la red bajo condiciones de tráfico ideales) y el tiempo de viaje.
- **Tiempo de parada:** tiempo medio que los vehículos se encuentran parados, por kilómetro recorrido.
- **Número de paradas:** número medio de paradas realizadas por vehículo por kilómetro recorrido en la red.

- **Recorrido:** sumatorio del número de kilómetros que recorre cada vehículo en la red.

Y a nivel de sección y de giro serán las siguientes:

- **Flujo medio:** número medio de vehículos por hora que han cruzado la sección durante el periodo simulado. Los vehículos son contados en cuanto salen de una sección y entran en la siguiente, y se desglosan entre los diferentes giros de la sección.
- **Densidad:** número medio de vehículos por kilómetro en la sección. No se calcula la densidad a nivel de cada giro.
- **Velocidad media:** se calcula a partir de las velocidades medias de todos los vehículos al recorrer la sección, diferenciando entre cada uno de los giros realizados.
- **Tiempo de viaje:** tiempo medio que necesita un vehículo para atravesar la sección. Se calcula como la media aritmética de los tiempos individuales (instante de salida - instante de entrada en la sección) de cada vehículo que sale de la sección. Se distingue entre los diferentes giros.
- **Tiempo de demora:** tiempo medio de demora por vehículo. Se define como la diferencia entre el tiempo medio esperado en la sección menos el tiempo que tardaría un vehículo en atravesar la sección bajo condiciones de tráfico ideales. También se distinguen entre giros.
- **Tiempo de parada:** tiempo medio que un vehículo se encuentra parado mientras atraviesa la sección. Se distinguen entre los diferentes giros.
- **Número de paradas:** número medio de paradas realizadas por vehículo en la sección. Se distinguen entre los diferentes giros.
- **Longitud media de cola:** número medio de vehículos por carril que están haciendo cola en esa sección. Se calcula como una media ponderada en tiempo.

Todas las medidas estadísticas presentadas pueden calcularse según dos tipos de ámbito temporal:

- **Global:** estadísticas recogidas desde el principio hasta el final del periodo simulado.
- **Periódico:** estadísticas recogidas durante un cierto periodo de cierto tiempo, definido por el usuario (por ejemplo, cada 15 minutos). Después de cada periodo, se reinician las áreas de recogida de estadísticas.

CAPÍTULO 3

Modelos de simulación interurbanos simples

3. MODELOS DE SIMULACIÓN INTERURBANOS SIMPLES

Una vez visto como funciona el simulador AIMSUN2 estamos en condiciones de construir los modelos interurbanos que se someterán a estudio.

Estos modelos nos permitirán responder a cuestiones sobre los sistemas que representan sin tener que actuar directamente sobre ellos, y nos proporcionarán conocimientos sobre calibración que aplicaremos en la simulación de futuras condiciones experimentales.

En primer lugar se definirán los modelos con los que vamos a trabajar, proporcionando al simulador la información necesaria sobre los objetos que los componen y sus relaciones (nº de carriles, velocidades máximas, modalidades de vehículos, flujos, etc...). Éstos no representarán tramos de vía interurbana reales, pero nos servirán para determinar la influencia que tienen los parámetros de entrada en los outputs que ofrece el simulador.

Exactamente, nuestro objetivo será observar qué sucede si se modifican los parámetros que influyen en el comportamiento de los vehículos cuando circulan por dos vías distintas, una sin cruces ni incorporaciones donde se puede circular libremente, y otra en la que se intercala un tramo que obliga a los vehículos a reducir la velocidad notablemente. Para ello se construirán los dos escenarios y una vez estén establecidas las condiciones experimentales de cada modelo se experimentará modificando controladamente los parámetros.

Las condiciones experimentales, que se fijarán en función de las características de la vía, no reproducirán con exactitud el tráfico real, ya que supondría complicar excesivamente los modelos de simulación y por tanto la consecución de nuestro objetivo. Por ejemplo, para representar el tráfico en los modelos solo se simularán vehículos de un único tipo, cuando en la realidad hay muchos más.

3.1 MODELO FREE-FLOW

Se construirán tres escenarios diferenciados por el número de carriles (1, 2 y 3) y para cada uno se definirá el conjunto de parámetros siguiente:

Estructura e infraestructura de la vía

- Longitud de la vía y anchura de los carriles (2 km y 3 m).
- Velocidad máxima de la vía.

Condiciones de tráfico

- Cantidad de vehículos que se incorporan a la vía en una hora.
- Características físicas de los vehículos :
 - Longitud y anchura del vehículo (4 m y 2 m)
 - Velocidad máxima deseada (especificaciones, pág. 27)
 - Aceleración máxima (2.8 m/s^2)
 - Deceleración normal (v.a. $\sim N(4, 0.5) \in [3.5 - 4.5]$)
Los valores que genere la v. a fuera del intervalo se sustituirán por el extremo más cercano.
 - Deceleración máxima (8 m/s^2)

Los valores que se acaban de especificar son los que LIOS utiliza para representar el tipo 'coche'. Exceptuando la velocidad máxima deseada, el resto de parámetros permanecerán invariables porque consideramos que para los objetivos de nuestro estudio tendrán menor influencia.

- Características de la conducción :
 - Speed Acceptance (θ) : nivel de aceptación de la velocidad máxima.

El resto de los parámetros que incluye el simulador referentes al comportamiento de los vehículos no se tendrán en cuenta ('Min Distance Veh', 'Give Way time' y 'Guidance Acceptance') porque no intervienen en la simulación. En un modelo 'free-flow' los vehículos nunca se pararán, por tanto no será necesario definir la distancia de separación mínima entre ellos; tampoco cederán el paso ni habrá paneles indicadores en la vía.

Inicialmente, en cada uno de los escenarios, además de variar a 2 niveles la velocidad máxima de la vía y a 4 el speed acceptance, se fijará la velocidad máxima deseada de los vehículos en función de las características de la red. En todos los casos seguirá la ley normal y en concreto para vías de:

Nº Carriles	V_{max}	Velocidad deseada por el vehículo
1	80	$N(80, 10) \in [60, 110]$
	100	$N(100, 10) \in [80, 130]$
2	100	$N(100, 10) \in [80, 130]$
	120	$N(110, 10) \in [90, 150]$
3	100	$N(100, 10) \in [80, 130]$
	120	$N(110, 10) \in [90, 150]$

Se limita más el nivel inferior de la velocidad máxima deseada que el superior porque bajo condiciones normales se desea circular más rápido que despacio ($[V_d - 2\sigma, V_d + 3\sigma]$).

Se irá incrementando el flujo en 500 veh/h en los escenarios que tienen uno y dos carriles de circulación y de 1000 en 1000 veh/h en los de tres carriles porque hemos considerado que es la manera más óptima de estudiar la evolución de las estadísticas a medida que se incorpora más flujo (hasta la capacidad máxima de la red), sabiendo que tendremos que realizar un número considerable de experimentos en el simulador.

OBJETIVOS DE LOS TRES ESCENARIOS

Para las tres condiciones en las que se experimenta se tendrá que :

1. Determinar la capacidad máxima de la vía y enumerar las condiciones experimentales con las que se obtiene. Comparar las condiciones óptimas obtenidas de los tres escenarios.
2. Ver cómo afecta a la velocidad media de los vehículos el hecho de modificar el número de carriles, el flujo, la velocidad máxima y el nivel de aceptación (speed acceptance, θ).
3. Representar gráficamente la relación entre las variables fundamentales del tráfico, velocidad, flujo y densidad.

EXPERIMENTACIÓN

Los experimentos de simulación durarán una hora y el periodo de carga de la red será de un minuto. Durante este tiempo (warm-up period) no se tomarán estadísticas ya que la red no está completamente llena.

Un aspecto importante de la simulación es averiguar las réplicas que se deben realizar de cada experimento para garantizar la bondad de los resultados estadísticos. Una solución práctica es simular repetidamente las mismas condiciones de tráfico y ver como varían las estadísticas de salida a medida que aumenta el número de réplicas realizadas. En la página 94 del anexo se ilustran estos experimentos y se explica por qué se ha fijado en 3 el número de réplicas a realizar de cada experimento.

3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MÁXIMA

A) UN CARRIL

Parámetros y sus correspondientes niveles :

- $V_{max} \rightarrow 80$ y 100 km/h
- $\theta \rightarrow 0.8, 1.0, 1.2, 1.4$
- Flujo $\rightarrow 500, 1000, 1500, 2000, 2200$ y 2500 veh/h

Se añade un nivel entre 2000 y 2500 veh/h porque, según los ingenieros de tráfico, la capacidad máxima teórica de una vía de un carril está entre estos valores (aprox. 2200).

- Recordemos que $V_d \sim N(80, 10) \in [60, 110]$ para $V_{max} = 80$ y $N(100, 10) \in [80, 130]$ para $V_{max} = 100$.

Resultados de AIMSUN2 al efectuar las medias de las 3 réplicas realizadas (págs. 99-106):

θ	Flujo teórico	Velocidad máxima de la vía							
		80				100			
		Flujo	Densidad	V_{media}	σ	Flujo	Densidad	V_{media}	σ
0.8	500	516	8.1	63.7	0.6	501	6.2	79.8	0.4
	1000	1013	15.9	63.3	1.0	1014	12.6	79.3	0.9
	1500	1513	24.2	62.4	1.6	1497	18.9	78.6	1.5
	2000	1894	31.8	59.6	1.7	1957	25.9	75.2	2.5
	2200	1955	33.3	58.7	0.9	2054	28.1	73.1	1.0
	2500	1954	33.4	58.6	0.8	2057	28.1	73.0	0.8
1	500	514	7.1	72.8	5.7	489	5.2	94.2	5.5
	1000	998	14.3	69.7	5.2	997	10.9	91.1	5.6
	1500	1493	22.6	66.3	4.1	1473	16.9	87.1	5.3
	2000	1930	32.2	60.0	2.2	1969	24.8	79.7	4.2
	2200	1956	33.1	59.2	1.3	2053	26.9	76.4	2.8
	2500	1956	33.0	59.1	1.1	2069	27.1	75.9	2.3
1.2	500	504	6.8	74.1	7.4	501	5.2	95.7	7.5
	1000	971	13.8	70.7	5.5	989	10.7	91.9	6.5
	1500	1470	22.1	66.5	4.4	1509	17.3	86.9	5.8
	2000	1948	32.7	59.8	1.7	1985	25.0	79.3	4.5
	2200	1954	32.9	59.4	1.7	2060	27.0	76.1	2.2
	2500	1956	33.0	59.4	1.2	2069	27.2	75.8	1.9
1.4	500	477	6.5	74.0	7.1	486	5.1	95.6	7.8
	1000	1024	14.6	70.1	5.3	1026	11.1	91.4	6.6
	1500	1493	22.5	66.4	4.3	1511	17.3	87.1	5.7
	2000	1936	32.4	59.9	2.1	2015	25.7	78.5	3.8
	2200	1952	32.8	59.6	1.4	2062	27.1	75.9	2.2
	2500	1958	33.0	59.5	1.5	2068	27.2	76.0	2.1

La capacidad máxima de la vía, en ninguno de los modelos, supera los 2200 veh/h. Siempre que se intenta introducir este flujo no entran los vehículos deseados.

La capacidad máxima de la vía parece que no depende del nivel de aceptación (θ), porque los resultados obtenidos en cada uno de los niveles seleccionados son similares. Para confirmarlo se realiza el siguiente contraste de hipótesis:

$$H_0: \mu_{0.8} = \mu_{1.0} = \mu_{1.2} = \mu_{1.4}$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ cuando } i \neq j$$

Para comparar la capacidad máxima media de los diferentes niveles del speed acceptance (θ) aplicaremos un test paramétrico (Anova) y otro no paramétrico (Kruskal-Wallis). Los datos que disponemos (sólo 3 réplicas por nivel) no nos permiten asegurar que se cumplan las hipótesis iniciales necesarias para realizar el primer test, pero de todas maneras las asumiremos.

Hipótesis iniciales : normalidad de los datos, variancia constante, independencia entre los niveles e independencia dentro cada nivel.

Resultados de los tests (nivel de confianza 95%):

V_{max}	P_VALUE			
	ANOVA		KRUSKAL	
80	0.450	Aceptamos H_0	0.440	Aceptamos H_0
100	0.000	Rechazamos H_0	0.005	Rechazamos H_0

En los dos tests se obtiene que cuando la V_{max} es de 80 km/h las capacidades máximas medias se pueden considerar iguales, y que para la V_{max} de 100 km/h, sólo son iguales las de los niveles 1, 1.2 y 1.4 (véase páginas 136-138 del anexo).

CAPACIDAD MÁXIMA

Valores medios (promedio de los resultados en el nivel 2500):

$$V_{max} = 80 \text{ Km/h} \rightarrow 1956 \text{ veh/h}$$

$$V_{max} = 100 \text{ Km/h} \rightarrow 2057 \text{ veh/h para } \theta = 0.8$$

$$2069 \text{ veh/h para } \theta = 1, 1.2 \text{ y } 1.4$$

Valores absolutos:

$$V_{max} = 80 \text{ Km/h} \rightarrow 1961 \text{ veh/h (} \theta = 1.0, \text{ flujo} = 2500, \text{ semilla } 4493 \text{)}$$

$$V_{max} = 100 \text{ Km/h} \rightarrow 2058 \text{ veh/h (} \theta = 0.8, \text{ flujo} = 2500, \text{ semilla } 7589 \text{)}$$

$$2070 \text{ veh/h (} \theta = 1.0, \text{ flujo} = 2500, \text{ semilla } 0013 \text{)}$$

B) DOS CARRILES

Parámetros a modificar en la experimentación :

- V_{max} → 100 y 120 km/h
- θ → 0.8, 1.0, 1.2, 1.4
- Flujo → 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4300 y 4500 veh/h
- Recordemos que $V_d \sim N(100, 10) \in [80, 130]$ para $V_{max} = 100$ y $N(110, 10) \in [90, 150]$ para $V_{max} = 120$.

Resultados de AIMSUN2 al efectuar las medias de las 3 réplicas realizadas (págs. 107-114):

θ	Flujo teórico	Velocidad máxima de la vía							
		100				120			
		Flujo	Densidad	V_{media}	σ	Flujo	Densidad	V_{media}	σ
0.8	1500	1475	18.3	79.6	0.5	1488	15.5	95.2	1.4
	2000	1994	24.9	79.4	0.8	2010	21.0	94.8	1.6
	2500	2490	31.3	79.1	1.0	2484	26.0	94.3	1.8
	3000	2951	37.2	78.7	1.2	2963	31.4	93.6	2.3
	3500	3478	44.4	77.9	1.6	3497	37.7	92.0	2.9
	4000	3991	53.1	75.0	2.1	3972	44.6	88.7	3.4
	4300	4107	56.0	73.2	1.0	4174	49.7	83.9	2.7
	4500	4113	56.2	73.1	0.8	4187	50.1	83.4	2.4
1	1500	1474	15.5	94.4	5.2	1507	14.0	106.8	7.3
	2000	1960	20.8	93.6	5.2	2055	19.4	105.0	7.0
	2500	2513	27.2	91.9	5.4	2471	23.6	103.5	6.9
	3000	2997	33.0	90.1	5.5	3047	30.0	100.8	6.5
	3500	3498	40.1	87.0	5.4	3509	35.8	97.4	6.2
	4000	3985	49.3	80.6	4.6	3967	43.2	91.5	5.9
	4300	4107	53.8	76.3	2.8	4196	49.1	85.2	2.8
	4500	4113	53.9	76.3	2.5	4188	49.3	84.9	3.2
1.2	1500	1486	15.2	97.3	7.7	1497	13.9	107.1	8.0
	2000	2006	20.9	95.2	7.3	1998	18.8	105.7	7.6
	2500	2504	26.6	93.6	6.8	2539	24.3	103.4	7.1
	3000	2905	31.7	91.2	6.5	3017	29.6	101.1	6.5
	3500	3486	39.7	87.4	6.1	3491	35.6	97.4	6.1
	4000	3947	48.4	81.5	5.5	4001	43.9	90.8	5.3
	4300	4109	53.5	76.6	3.0	4192	49.1	85.1	3.0
	4500	4120	53.7	76.6	2.6	4190	48.9	85.5	3.1
1.4	1500	1473	15.0	97.4	8.1	1521	14.1	107.0	7.9
	2000	2031	21.2	95.3	7.2	1998	18.8	105.4	7.6
	2500	2484	26.5	93.4	6.9	2521	24.1	103.4	7.1
	3000	2971	32.5	91.0	6.3	3025	29.9	100.7	6.8
	3500	3448	39.2	87.6	6.1	3509	35.8	97.4	6.4
	4000	3966	48.9	80.9	4.9	3973	43.3	91.3	5.6
	4300	4119	53.8	76.5	2.7	4195	49.0	85.4	2.9
	4500	4121	53.9	76.3	2.3	4191	49.0	85.3	2.9

La capacidad máxima de las vías de dos carriles no alcanza los 4200 veh/h, aunque la de la vía con V_{max} igual a 120 se acerca mucho.

Al igual que anteriormente nos preguntamos si el nivel del parámetro θ influye en la capacidad máxima de la vía. Se observa que los resultados en todos los niveles son muy parecidos, y esto nos hace pensar que las medias son iguales. Para corroborar esta última afirmación realizamos el mismo contraste de hipótesis que utilizamos para un carril (véase págs. 139, 140 del anexo).

Resultados de los tests (nivel de confianza 95%):

V _{max}	P_VALUE			
	ANOVA		KRUSKAL	
100	0.426	Aceptamos H ₀	0.219	Aceptamos H ₀
120	0.972	Aceptamos H ₀	0.986	Aceptamos H ₀

El speed acceptance no influye en la capacidad máxima ni en la vía que tiene como V_{max} 80 km/h ni en la de 100 km/h.

CAPACIDAD MÁXIMA

Valores medios:

$$V_{max} = 100 \text{ Km/h} \rightarrow 4117 \text{ veh/h (promedio de los resultados en el nivel 4500)}$$

$$V_{max} = 120 \text{ Km/h} \rightarrow 4189 \text{ veh/h (" " " " ")}^*$$

* En esta vía, el promedio de los niveles de flujo 4300 y 4500 veh/h es el mismo.

Valores absolutos:

$$V_{max} = 100 \text{ Km/h} \rightarrow 4126 \text{ veh/h (} \theta = 1.4, \text{ flujo} = 4300, \text{ semilla } 6643 \text{)}$$

$$V_{max} = 120 \text{ Km/h} \rightarrow 4203 \text{ veh/h (} \theta = 1, \text{ flujo} = 4300, \text{ semilla } 5067 \text{)}$$

C) TRES CARRILES

Parámetros a modificar en la experimentación :

- $V_{max} \rightarrow 100$ y 120 km/h
- $\theta \rightarrow 0.8, 1.0, 1.2, 1.4$
- Flujo $\rightarrow 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 6500$ y 7000 veh/h
- Recordemos que $V_d \sim N(100, 10) \in [80, 130]$ para $V_{max} = 100$ y $N(110, 10) \in [90, 150]$ para $V_{max} = 120$.

Resultados de AIMSUN2 al efectuar las medias de las 3 réplicas realizadas (págs. 115-122):

θ	Flujo teórico	Velocidad máxima de la vía							
		100				120			
		Flujo	Densidad	V_{media}	σ	Flujo	Densidad	V_{media}	σ
0.8	2000	1987	24.8	79.5	0.7	1972	21.1	95.0	1.5
	3000	2984	37.3	79.3	0.9	2914	31.1	94.6	1.7
	4000	3984	50.0	79.0	1.1	3969	42.8	94.0	2.0
	5000	4997	63.3	78.3	1.4	4904	53.6	92.7	2.6
	6000	5915	77.6	76.0	2.0	5866	67.5	88.5	3.7
	6500	6167	84.2	73.1	0.8	6174	75.7	83.3	2.3
	7000	6163	84.2	73.1	0.9	6175	76.1	82.8	2.1
1	2000	1974	20.7	94.7	5.1	1968	18.7	107.1	7.7
	3000	2971	31.6	93.4	5.4	2952	28.5	105.5	7.6
	4000	3952	42.7	91.9	5.5	3983	39.4	102.9	7.2
	5000	4986	55.8	88.7	5.7	4952	50.6	99.4	6.9
	6000	5986	73.7	81.0	5.0	5963	67.7	90.0	5.9
	6500	6159	80.9	76.0	2.4	6165	74.3	84.7	3.2
	7000	6160	81.2	75.8	2.6	6177	75.1	83.9	3.0
1.2	2000	1977	20.1	97.9	8.4	1914	18.0	108.0	8.6
	3000	3001	30.9	95.9	8.0	2956	28.4	105.9	8.2
	4000	3974	42.2	93.7	7.4	3852	37.8	103.7	7.6
	5000	4963	55.2	89.6	6.7	4969	50.8	99.3	7.0
	6000	5937	72.5	81.4	5.3	5864	64.8	92.2	5.8
	6500	6161	80.6	76.3	2.9	6173	74.6	84.5	3.1
	7000	6164	80.9	76.0	2.5	6179	74.9	84.1	2.8
1.4	2000	2034	20.7	98.0	8.4	1986	18.7	108.0	8.8
	3000	3013	31.2	96.1	8.0	2956	28.4	106.1	8.1
	4000	3990	42.5	93.5	7.3	3921	38.6	103.4	7.6
	5000	4977	55.1	90.0	6.5	4865	49.5	99.9	7.0
	6000	6034	75.2	80.2	4.7	5831	64.3	92.3	5.7
	6500	6162	80.8	76.1	2.5	6175	74.5	84.5	3.1
	7000	6159	80.5	76.4	2.8	6172	74.8	84.2	3.0

En la experimentación se observa que la capacidad máxima de las dos vías simuladas se acerca a los 6200 veh/h. Se detecta tanto en el nivel de 6500 veh/h como en el de 7000 veh/h.

Como anteriormente, se utiliza una prueba de significación para determinar si afecta el nivel de aceptación de la V_{max} en la capacidad máxima (véase págs. 140, 141 del anexo). Y al igual que con dos carriles tanto para $V_{max} = 100$ Km/h como para $V_{max} = 120$ Km/h las velocidades son iguales.

V_{max}	P_VALUE			
	ANOVA		KRUSKAL	
100	0.517	Aceptamos H_0	0.408	Aceptamos H_0
120	0.515	Aceptamos H_0	0.659	Aceptamos H_0

Nivel de confianza del 95%

CAPACIDAD MÁXIMA

Valores medios :

$$V_{max} = 100 \text{ Km/h} \rightarrow 6162 \text{ veh/h (promedio de los resultados en el nivel 7000) }^*$$

$$V_{max} = 120 \text{ Km/h} \rightarrow 6176 \text{ veh/h (" " " " ") }^*$$

* Se obtiene el mismo promedio en el nivel de flujo 6500 que en el de 7000 veh/h.

Valores absolutos:

$$V_{max} = 100 \text{ Km/h} \rightarrow 6171 \text{ veh/h (} \theta = 0.8, \text{ flujo} = 6500, \text{ semilla } 3928 \text{)}$$

$$V_{max} = 120 \text{ Km/h} \rightarrow 6183 \text{ veh/h (} \theta = 1, \text{ flujo} = 7000, \text{ semilla } 2342 \text{)}$$

ANÁLISIS GLOBAL DE LA CAPACIDAD MÁXIMA

La capacidad máxima de la vía de un carril ha aumentado en 5.62 % al incrementar la velocidad máxima de 80 a 100 km/h (y la velocidad deseada), y en 1.75 % y en 0.22 % cuando se pasa de 100 a 120 km/h en una vía de dos y tres carriles respectivamente.

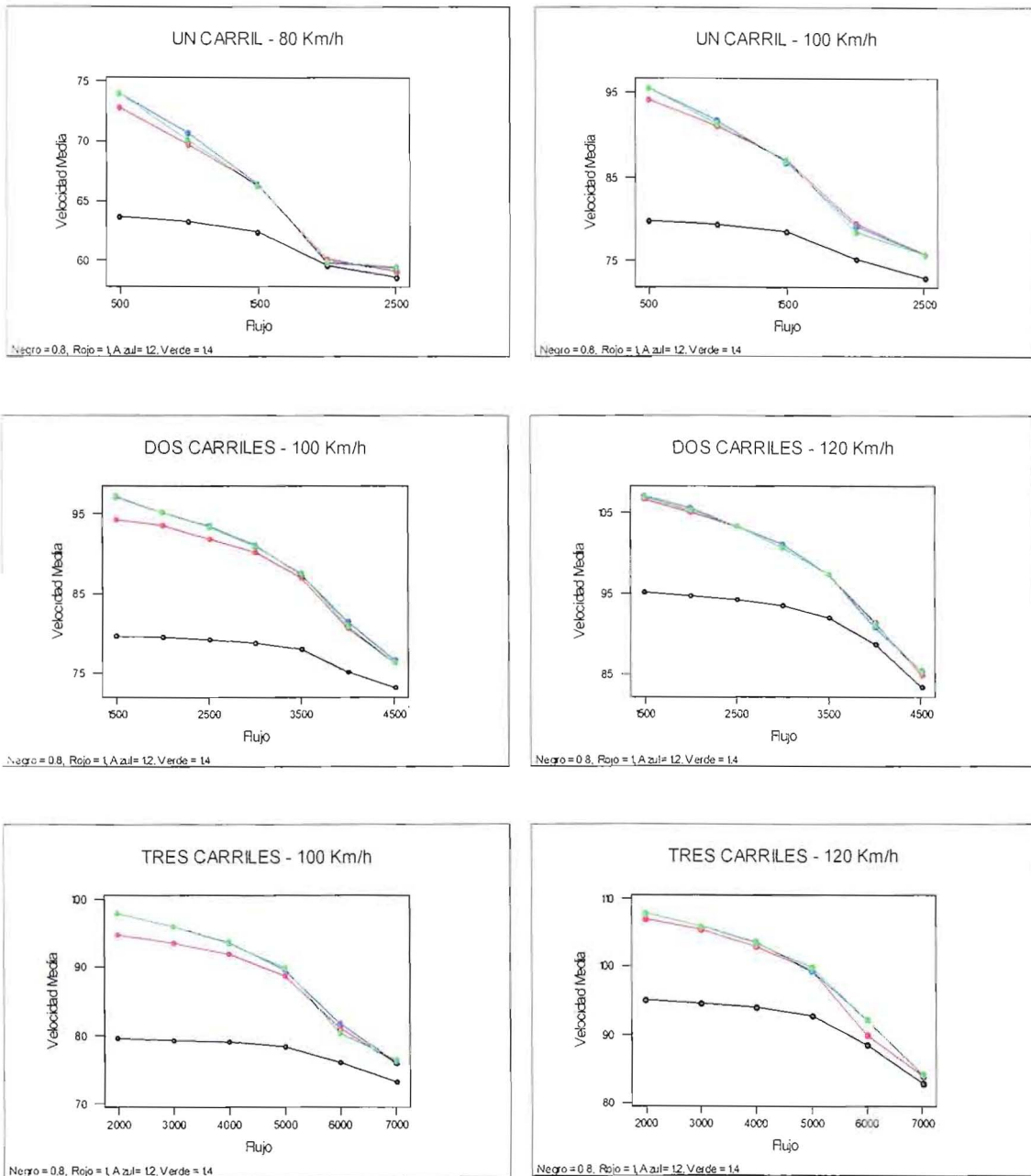
Nº Carriles	V _{max}	V _d	Capacidad
1	80	N (80,10)	1956
	100	N (100,10)	2066
2	100	N (100,10)	4117
	120	N (110,10)	4189
3	100	N (100,10)	6162
	120	N (110,10)	6176

La capacidad máxima por carril, cuando la velocidad máxima es de 100 km/h, disminuye en un 0.39 % al incrementar a dos el número de carriles, y en 0.58 % al añadir un tercero. Y, cuando la velocidad es de 120 km/h, al pasar de 2 a 3 carriles la capacidad disminuye un 1.74 %.

Carriles	Capacidad por carril		
	80	100	120
1	1956	2066	-
2	-	2058	2094
3	-	2054	2059

3.1.2 ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD MEDIA

En primer lugar se representa gráficamente la evolución de la velocidad media en función del flujo que se incorpora a la vía y del nivel de aceptación de la velocidad máxima, para cada uno de los escenarios posibles.

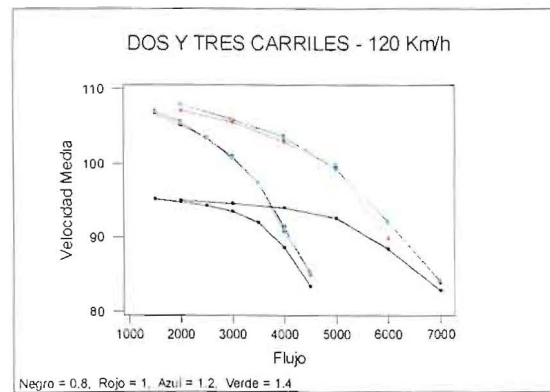
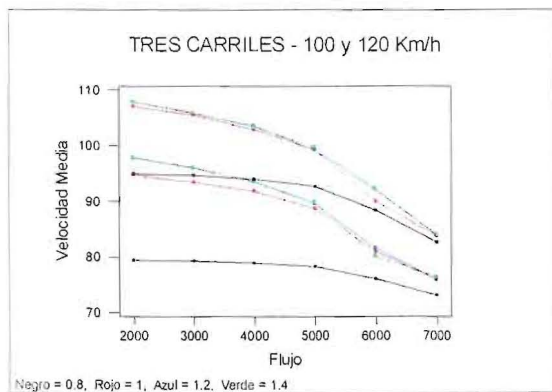
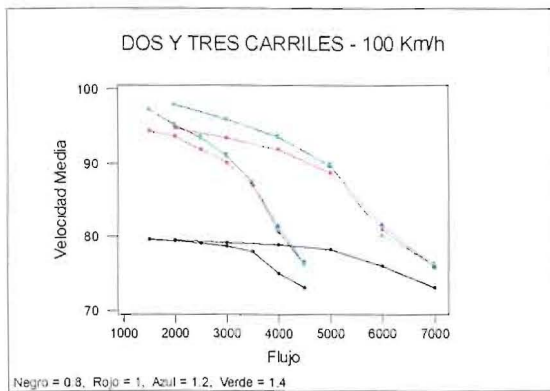
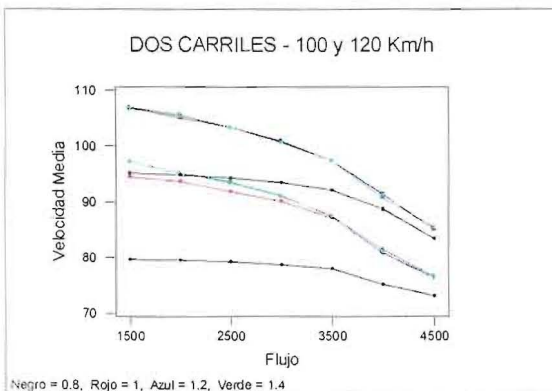
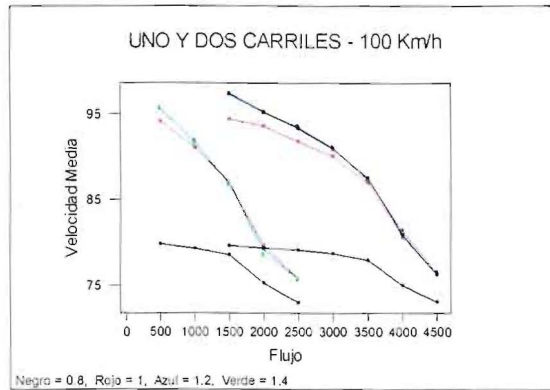
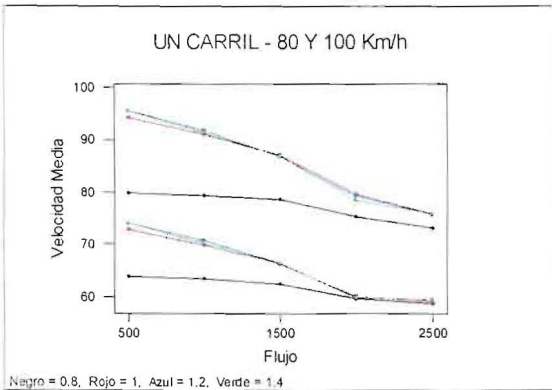


Cada color representa un nivel de aceptación diferente (■ 0.8, ■ 1.0, ■ 1.2 y ■ 1.4).

Para observar las diferencias existentes entre los comportamientos del tráfico simulados se superponen los gráficos anteriores. En los gráficos (A) se observa como influye en la velocidad media resultante la modificación de la velocidad máxima de la vía y la velocidad deseada de los vehículos. Mientras que en los gráficos (B) se representa la velocidad media cuando se reproducen las mismas condiciones de tráfico en vías con diferente número de carriles.

A

B



Cada color representa un nivel de aceptación diferente (■ 0.8, ■ 1.0, ■ 1.2 y ■ 1.4).

ANÁLISIS DE LOS GRÁFICOS

- Conforme se va incrementando el flujo de vehículos la velocidad media va disminuyendo progresivamente, y cuanto más nos acercamos a la capacidad máxima la disminución es mayor.
- Cuando el nivel de aceptación es 0.8 la velocidad media de circulación es muy inferior a la obtenida con los otros niveles, aunque a medida que se incrementa el flujo que se incorpora a la vía las diferencias se reducen notablemente (por ejemplo, para [1, 80, $\forall\theta$, 2000]¹ la velocidad media de los vehículos es la misma).

El resto de niveles del speed acceptance generan velocidades medias muy parecidas, sobretodo los niveles 1.2 y 1.4. Inicialmente, con $\theta = 1$ la velocidad media es algo inferior a la de los otros dos niveles, pero a poco que se incrementa el flujo se igualan (excepto cuando la V_{max} es de 120 km/h, donde la velocidad media en los tres niveles es prácticamente igual).

Para completar el estudio se han reproducido las condiciones experimentales anteriores utilizando como valor del parámetro θ el que genera la ley $N(1, 0.08)$ entre [0.84,1.24]. Los resultados obtenidos y su interpretación pueden observarse en las páginas 123-131 del anexo.

- Incrementar la V_{max} de 80 a 100 km/h en un carril y de 100 a 120 km/h en dos o tres carriles implica un aumento de la velocidad media de circulación (columna A). Este incremento no solamente se debe al aumento de la V_{max} , sino que también se debe a la variación de la velocidad deseada establecida inicialmente.
- Al incrementar el número de carriles (manteniendo todos los demás parámetros fijos) se circula a mayor velocidad. Cuanto mayor es el flujo más grandes son las diferencias entre las velocidades medias de los dos escenarios. (columna B).

¹ Notación : Un carril a 80 km/h, para cualquier nivel de aceptación y flujo de entrada de 2000 veh/h .

COMPARACIÓN DE LOS TRES ESCENARIOS

En los escenarios codificados hasta el momento se han utilizado niveles de flujo, V_{max} y V_d diferentes, ya que las condiciones experimentales han sido definidas en función del número de carriles que componían la vía. Éstos posibilitaban observar qué acontecía en cada una de las situaciones escenificadas, pero como se experimentaba en diferentes niveles de la V_d , en algunas ocasiones no se podía achacar a un parámetro concreto las diferencias que se contemplaban.

Ahora para que esto no suceda y podamos cuantificar el efecto de cada uno de los parámetros incluidos en la simulación se experimentará con los mismos niveles en todos los escenarios.

Concretamente, las condiciones experimentales serán:

Flujo	(12 niveles) :	500, 1000, 1500, ,4500, 5000, 5500 y 6000 veh/h.
V_{max}	(2 niveles) :	100 y 120 km/h.
θ	(4 niveles) :	0.8, 1, 1.2 y 1.4
Nº Carriles	(3 niveles) :	1, 2 y 3
V_d	:	$N(100,10) \in [80, 130]$ km/h

Y el resto de parámetros permanecerán invariables.

Para vías con uno y dos carriles no será necesario experimentar con todos los niveles del flujo aquí mencionados, ya que la capacidad máxima de estas dos vías no superarán los 2500 y 4500 veh/h respectivamente.

Al igual que anteriormente los experimentos representarán una hora en tiempo real, el periodo warm-up será de un minuto y la cantidad de réplicas que se efectuarán será tres. Las estadísticas que se recogerán serán el flujo introducido en la simulación, la densidad de vehículos, la velocidad media de circulación de los vehículos que han logrado completar el trayecto (variable principal de estudio) y la desviación típica de la misma.

Cálculo del número de experimentos necesarios:

Nº de carriles	Flujo	V_{max}	θ	V_d	Réplicas	Total
1	4	2	4	1	3	96
2	8					192
3	12					288

De los 576 experimentos, 180 ya están realizados.

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN (págs. 132-135)

A) UN CARRIL

θ	Flujo teórico	Velocidad máxima de la vía							
		100				120			
		Flujo	Densidad	V media	σ	Flujo	Densidad	V media	σ
0.8	500	501	6.2	79.8	0.4	501	5.5	92.2	4.4
	1000	1014	12.6	79.3	0.9	997	11.2	90.2	4.8
	1500	1497	18.9	78.6	1.5	1480	17.3	87.2	4.9
	2000	1957	25.9	75.2	2.5	1984	25.8	78.6	3.5
1	500	489	5.2	94.2	5.5	483	5.2	95.4	7.7
	1000	997	10.9	91.1	5.6	982	11.0	91.1	6.6
	1500	1473	16.9	87.1	5.3	1518	17.8	86.7	5.5
	2000	1969	24.8	79.7	4.2	1978	25.8	78.2	4.2
1.2	500	501	5.2	95.7	7.5	505	5.4	95.2	7.7
	1000	989	10.7	91.9	6.5	986	11.0	91.6	6.6
	1500	1509	17.3	86.9	5.8	1481	17.2	87.3	5.7
	2000	1985	25.0	79.3	4.5	1971	25.6	78.6	4.1
1.4	500	486	5.1	95.6	7.8	509	5.4	95.6	7.4
	1000	1026	11.1	91.4	6.6	978	10.9	91.7	6.5
	1500	1511	17.3	87.1	5.7	1484	17.3	87.2	5.6
	2000	2015	25.7	78.5	3.8	1975	25.9	78.1	4.1

B) DOS CARRILES

θ	Flujo teórico	Velocidad máxima de la vía							
		100				120			
		Flujo	Densidad	V media	σ	Flujo	Densidad	V media	σ
0.8	500	488	6.1	79.9	0.3	500	5.3	93.8	3.7
	1000	1006	12.5	79.7	0.4	992	10.6	93.1	3.8
	1500	1475	18.3	79.6	0.5	1531	16.4	92.4	4.0
	2000	1994	24.9	79.4	0.8	1980	21.4	91.7	4.1
	2500	2490	31.3	79.1	1.0	2506	27.4	90.7	4.2
	3000	2951	37.2	78.7	1.2	3002	33.5	89.1	4.5
	3500	3478	44.4	77.9	1.6	3448	39.5	86.7	4.9
	4000	3991	53.1	75.0	2.1	4011	50.2	79.8	4.2
1	500	502	5.2	95.9	5.1	491	4.9	99.5	9.1
	1000	998	10.3	95.5	5.0	998	10.1	98.4	8.4
	1500	1474	15.5	94.4	5.2	1524	15.7	97.0	7.7
	2000	1960	20.8	93.6	5.2	1923	20.8	95.4	7.3
	2500	2513	27.2	91.9	5.4	2520	26.8	93.6	6.7
	3000	2997	33.0	90.1	5.5	3021	33.0	90.8	6.1
	3500	3498	40.1	87.0	5.4	3470	39.5	87.4	6.0
	4000	3985	49.3	80.6	4.6	3999	49.9	80.2	5.1
1.2	500	510	5.1	100.0	8.7	490	4.9	99.5	9.1
	1000	998	10.0	98.3	8.4	1014	10.2	98.4	8.4
	1500	1486	15.2	97.3	7.7	1484	15.2	97.1	7.9
	2000	2006	20.9	95.2	7.3	1989	20.8	95.4	7.3
	2500	2504	26.6	93.6	6.8	2465	26.3	93.3	6.9
	3000	2905	31.7	91.2	6.5	2987	32.6	91.0	6.5
	3500	3486	39.7	87.4	6.1	3520	40.0	87.4	5.8
	4000	3947	48.4	81.5	5.5	4031	50.7	79.4	4.6
1.4	500	518	5.1	99.8	9.2	516	5.2	99.3	9.3
	1000	989	10.0	98.7	8.4	983	9.9	98.6	8.6
	1500	1473	15.0	97.4	8.1	1515	15.6	96.9	8.0
	2000	2031	21.2	95.3	7.2	2016	21.0	95.2	7.4
	2500	2484	26.5	93.4	6.9	2503	26.6	93.6	6.8
	3000	2971	32.5	91.0	6.3	2992	32.7	90.9	6.2
	3500	3448	39.2	87.6	6.1	3510	40.1	87.2	5.8
	4000	3966	48.9	80.9	4.9	4010	50.1	79.8	4.7

C) TRES CARRILES

θ	Flujo teórico	Velocidad máxima de la vía							
		100				120			
		Flujo	Densidad	V _{media}	σ	Flujo	Densidad	V _{media}	σ
0.8	500	504	6.3	79.9	0.3	499	5.4	93.7	3.7
	1000	976	12.2	79.8	0.4	981	10.6	93.4	3.7
	1500	1475	18.3	79.6	0.5	1484	16.2	93.0	3.8
	2000	1987	24.8	79.5	0.7	1979	21.7	92.7	3.8
	2500	2473	30.9	79.4	0.8	2465	27.2	92.1	4.1
	3000	2984	37.3	79.3	0.9	3009	33.4	91.5	4.2
	3500	3473	43.5	79.2	1.0	3466	38.7	90.9	4.4
	4000	3984	50.0	79.0	1.1	3941	44.4	90.2	4.5
	4500	4482	56.6	78.7	1.3	4494	51.3	89.0	4.7
	5000	4997	63.3	78.3	1.4	4914	57.0	87.7	4.9
	5500	5443	69.8	77.6	1.6	5346	63.3	86.0	5.0
6000	5915	77.6	76.0	2.0	5908	75.7	79.6	4.7	
1	500	473	4.9	96.1	5.1	481	4.9	100.2	8.9
	1000	979	10.1	95.7	5.1	985	10.1	99.6	9.0
	1500	1497	15.6	95.2	5.1	1495	15.4	98.6	8.7
	2000	1974	20.7	94.7	5.1	2008	20.9	97.9	8.5
	2500	2481	26.1	94.1	5.3	2444	25.7	97.2	8.2
	3000	2971	31.6	93.4	5.4	2976	31.5	96.1	8.0
	3500	3509	37.6	92.7	5.5	3479	37.4	94.9	7.7
	4000	3952	42.7	91.9	5.5	3949	43.0	93.3	7.2
	4500	4487	49.1	90.6	5.6	4473	49.6	91.7	6.9
	5000	4986	55.8	88.7	5.7	4912	55.7	89.8	6.6
	5500	5441	62.5	86.6	5.5	5419	64.0	86.4	6.1
6000	5986	73.7	81.0	5.0	5885	74.5	80.7	5.2	
1.2	500	486	4.9	100.1	9.2	502	5.1	100.1	9.3
	1000	1026	10.3	99.0	8.7	995	10.2	99.5	9.2
	1500	1546	15.6	98.8	8.5	1480	15.3	98.8	8.8
	2000	1977	20.1	97.9	8.4	1994	20.8	98.0	8.5
	2500	2514	25.7	97.1	8.1	2488	26.1	97.0	8.1
	3000	3001	30.9	95.9	8.0	2965	31.4	96.0	7.9
	3500	3488	36.6	94.8	7.7	3479	37.3	94.9	7.8
	4000	3974	42.2	93.7	7.4	3990	43.5	93.3	7.2
	4500	4479	48.3	92.1	7.0	4469	49.6	91.8	6.8
	5000	4963	55.2	89.6	6.7	4958	56.3	89.6	6.5
	5500	5443	62.2	86.8	6.1	5427	64.0	86.3	6.1
6000	5937	72.5	81.4	5.3	5844	72.9	81.1	5.3	
1.4	500	504	5.0	99.9	9.0	504	5.2	100.2	9.3
	1000	1005	10.0	99.5	9.0	996	10.2	99.4	9.0
	1500	1493	15.0	98.9	8.8	1473	15.2	98.9	8.7
	2000	2034	20.7	98.0	8.4	1993	20.7	98.2	8.7
	2500	2507	25.7	97.1	8.3	2508	26.3	97.2	8.2
	3000	3013	31.2	96.1	8.0	2981	31.6	96.2	8.1
	3500	3482	36.4	95.0	7.7	3490	37.6	94.7	7.6
	4000	3990	42.5	93.5	7.3	3939	43.0	93.5	7.4
	4500	4483	48.4	92.0	6.9	4472	49.7	91.6	6.9
	5000	4977	55.1	90.0	6.5	4952	56.3	89.6	6.5
	5500	5489	62.9	86.9	6.0	5451	64.4	86.3	6.0
6000	6034	75.2	80.2	4.7	5883	74.4	80.9	5.2	

Con los datos que se muestran en las tablas se procede a analizar como afecta en la velocidad media cambiar el nivel de los parámetros sometidos a estudio (número de carriles, flujo, velocidad máxima y nivel de aceptación de la velocidad máxima). Para ello se representa gráficamente la evolución de la velocidad media a medida que aumenta el flujo, fijando cada vez el nivel de dos de los tres parámetros restantes.

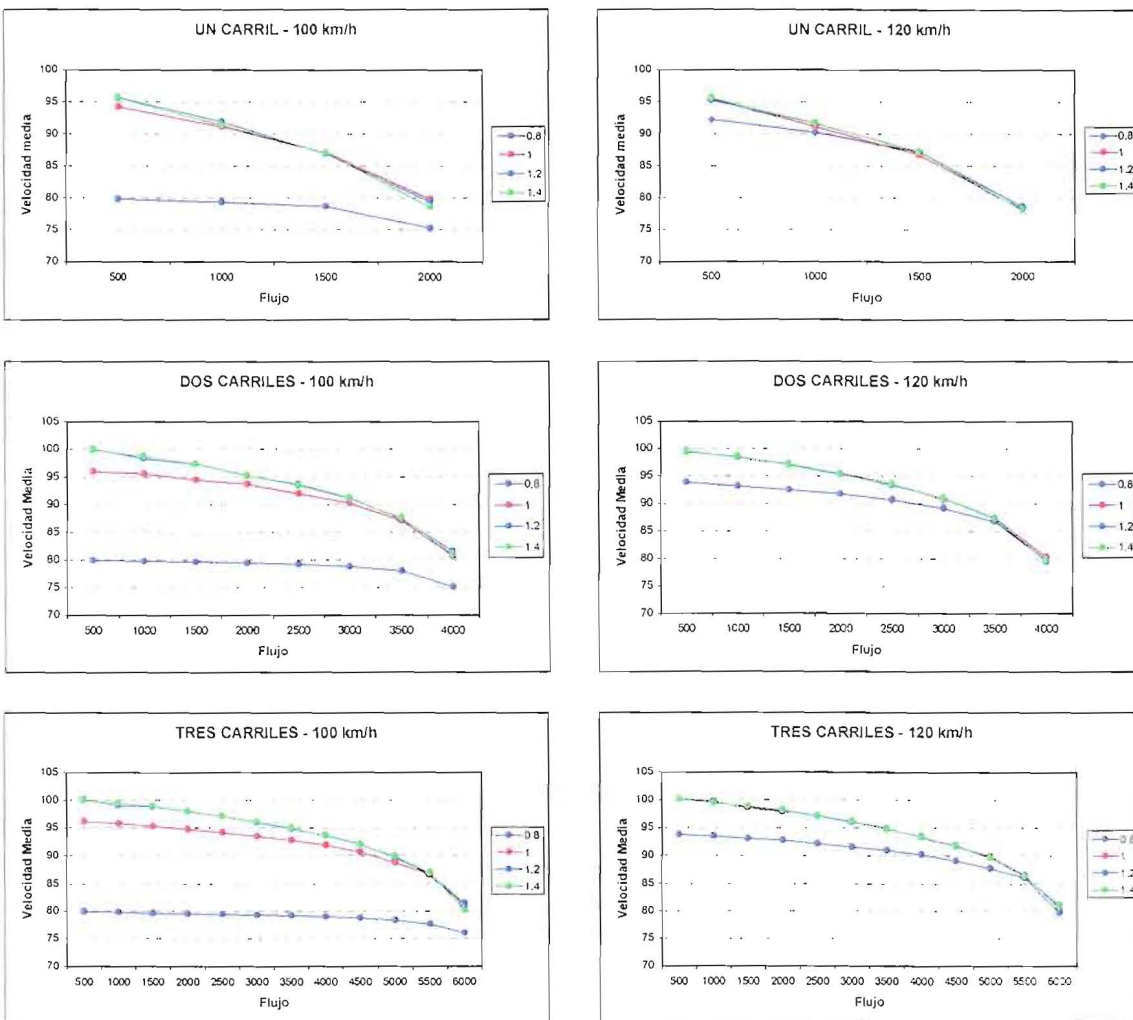
Por ejemplo, para estudiar qué ocurre cuando se añaden carriles a la vía, se fijan los niveles de la velocidad máxima permitida y del nivel de aceptación del conductor.

ESTUDIO DE LA VELOCIDAD MEDIA

Entre todas las estadísticas que proporciona AIMSUN2 analizamos la velocidad media porque acompañada del flujo permite que conozcamos con precisión cómo ha evolucionado el tráfico durante la simulación, y además facilita la comparación de los diferentes modelos construidos.

En primer lugar se analiza gráficamente la influencia del *speed acceptance* en el comportamiento de los vehículos. Recordemos que este parámetro indica el grado de aceptación de las señales de velocidad máxima de las vías, y que los niveles fijados son 0.8, 1, 1.2 y 1.4.

Speed acceptance variable y número de carriles y velocidad máxima de la vía constantes



- Cambiar el nivel de aceptación de la velocidad máxima no altera siempre la velocidad media de los vehículos.

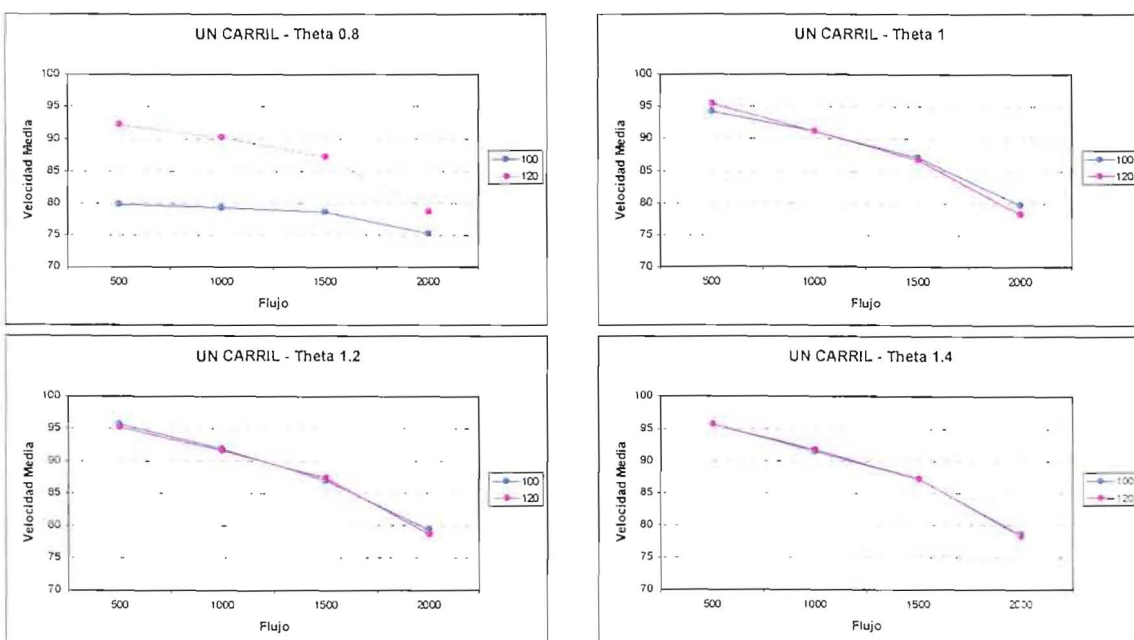
- En todas las vías pasar de 0.8 a 1 provoca que la velocidad aumente. Este incremento es mucho más acentuado cuando la velocidad máxima de la vía es 100 km/h.
- De 1 a 1.2 sólo se detecta que cambie la velocidad media cuando la velocidad máxima es de 100 km/h, aunque no son muy relevantes.
- De 1.2 a 1.4 en ninguno de los tres escenarios creados se aprecia que hayan diferencias. A efectos de simulación estos niveles se comportan idénticamente.

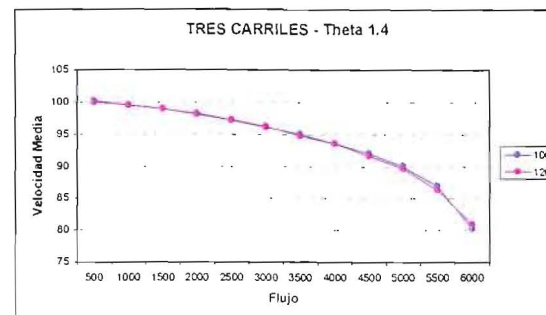
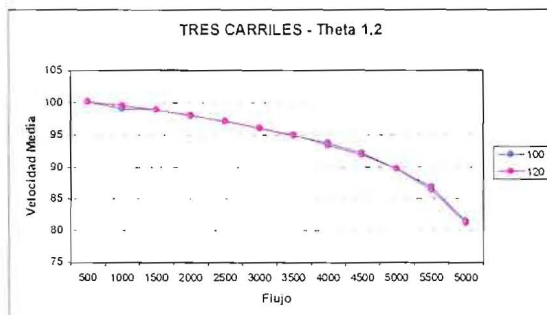
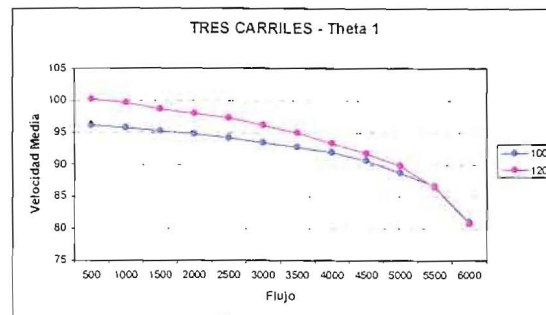
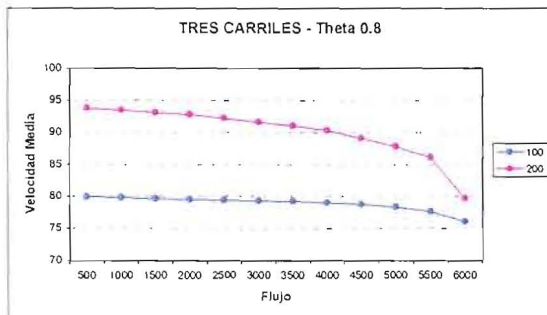
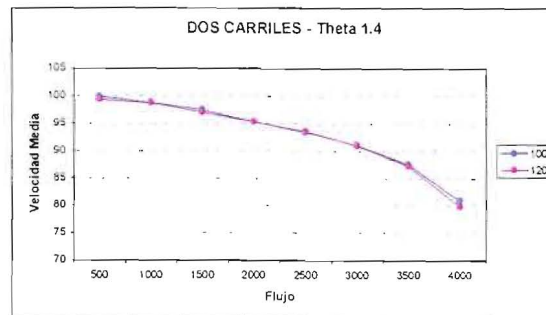
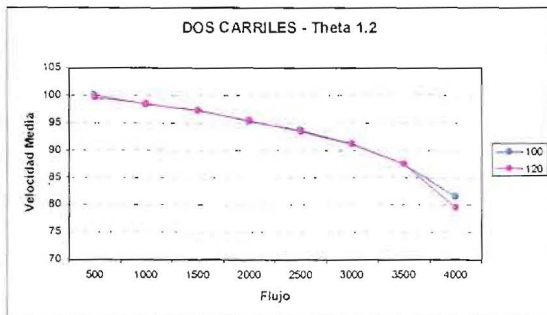
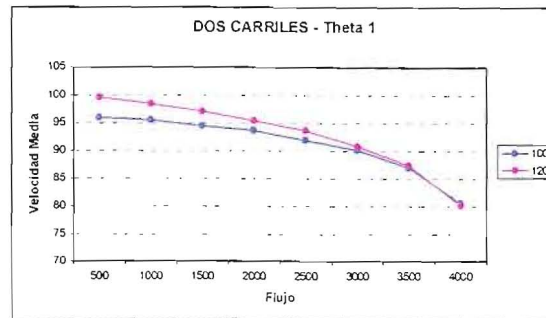
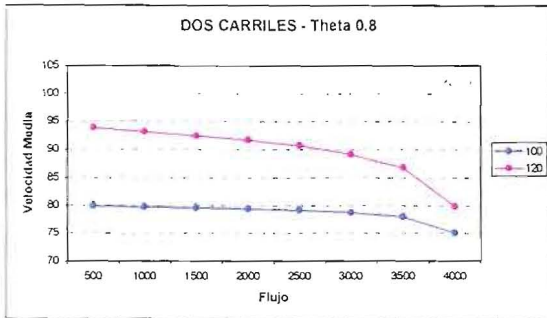
Este comportamiento es perfectamente lógico, puesto que la velocidad deseada de los vehículos en cada sección se calcula a partir de la fórmula: $MTN [V_{max} \cdot \theta, V_d]$. Cuando $V_{max} \cdot \theta > V_d$, si las condiciones de tráfico lo permiten, los vehículos circulan como máximo a su velocidad deseada valga lo que valga el parámetro θ , y si $V_{max} \cdot \theta < V_d$ se circula por debajo de la deseada.

- Cuando la velocidad máxima de la vía es 120 km/h y el flujo está a punto de colapsar la vía, todos los valores de θ generan la misma velocidad media de circulación, y cuando la velocidad máxima es de 100 km/h ocurre lo mismo excepto para el nivel 0.8.

A continuación se estudia cómo influye en la velocidad a la que finalmente circulan los vehículos cambiar la velocidad máxima de la vía. Recordemos que los niveles establecidos son 100 km/h y 120 km/h - velocidades usuales en vías interurbanas -, y que dependiendo del nivel de aceptación y de la velocidad deseada se respetarán o no.

Velocidad máxima variable y, número de carriles y nivel de aceptación constantes





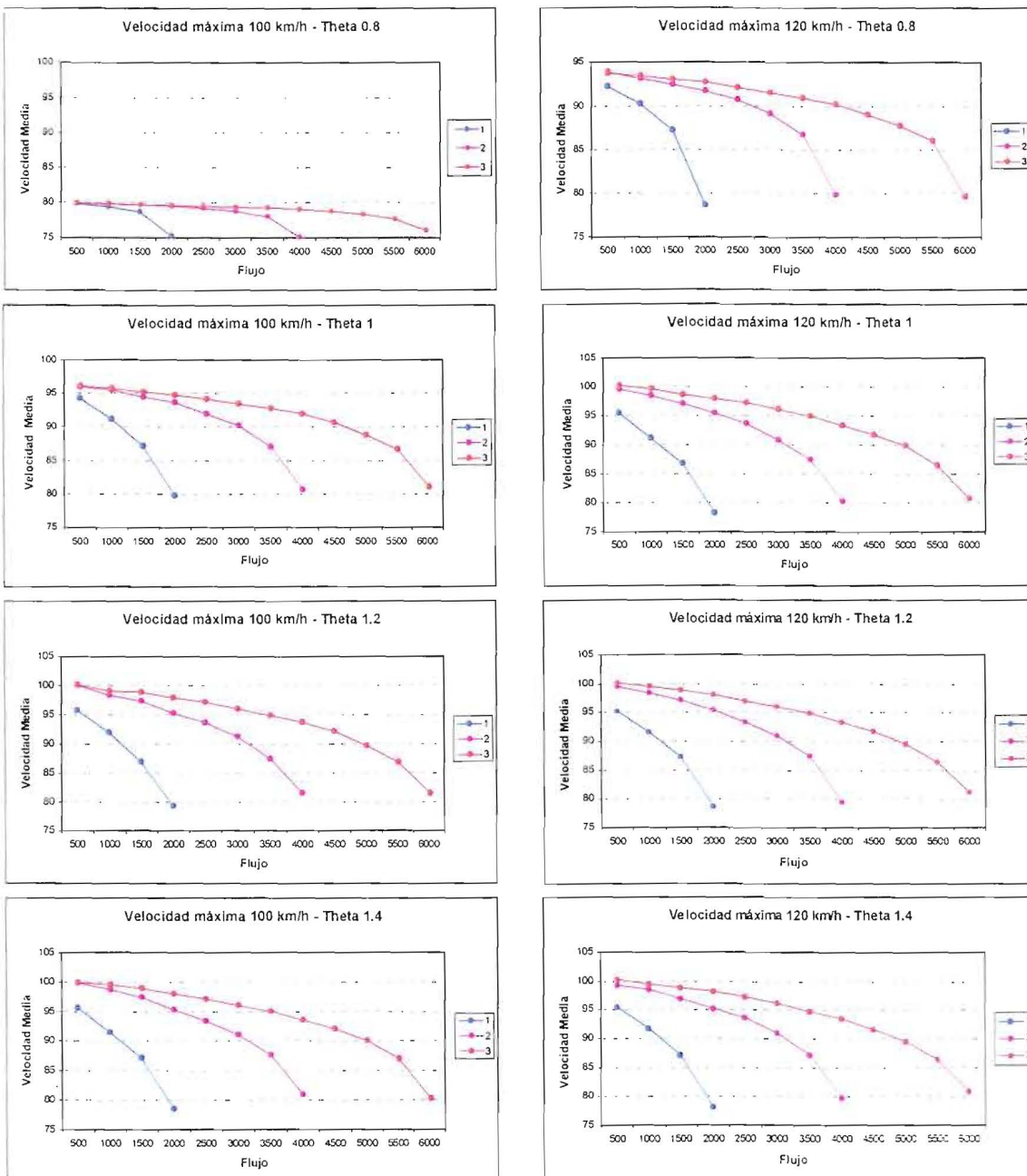
- Aumentar la velocidad máxima de 100 a 120 km/h en una vía de solo un carril influye en la velocidad media únicamente cuando el nivel de aceptación es 0.8.

En una vía de 2 carriles el cambio de velocidad máxima influye cuando θ vale 0.8 y cuando vale 1, aunque para este último nivel la influencia es mucho menor. En 3 carriles se observa lo mismo.

Cuando el nivel de aceptación es 1.2 y 1.4 la velocidad media de los vehículos no aumenta al cambiar la velocidad máxima.

Finalmente fijaremos el nivel de aceptación y la velocidad máxima de la vía para analizar qué consecuencias tiene en la velocidad media incrementar el número de carriles.

Número de carriles variable y, nivel de aceptación y velocidad máxima de la vía constantes



- Hasta el momento no se ha comentado nada sobre la influencia del flujo en la velocidad media, pero se podía haber comentado, ya que en todos los gráficos mostrados se observa lo mismo: el incremento del flujo provoca que la velocidad media de circulación disminuya.

También se percibe que el decrecimiento se acentúa al aproximarnos a la capacidad máxima de la vía.

- Añadir más carriles a una vía aumenta su capacidad y suaviza el descenso de la velocidad media debido al aumento de flujo.

A partir de 500 veh/h pasar de 1 a 2 carriles permite a los vehículos incrementar bastante más su velocidad que pasar de 2 a 3 carriles.

TABLAS

Para cuantificar las variaciones de la velocidad media que se acaban de observar gráficamente se ha resumido la información en las siguientes tablas:

Flujo	Carriles	100				120			
		0.8	1	1.2	1.4	0.8	1	1.2	1.4
500	UN	79.8	94.2	95.7	95.6	92.2	95.4	95.2	95.6
1000		79.3	91.1	91.9	91.4	90.2	91.1	91.6	91.7
1500		78.6	87.1	86.9	87.1	87.2	86.7	87.3	87.2
2000		75.2	79.7	79.3	78.5	78.6	78.2	78.6	78.1
500	DOS	79.9	95.9	100.0	99.8	93.8	99.5	99.5	99.3
1000		79.7	95.5	98.3	98.7	93.1	98.4	98.4	98.6
1500		79.6	94.4	97.3	97.4	92.4	97.0	97.1	96.9
2000		79.4	93.6	95.2	95.3	91.7	95.4	95.4	95.2
2500		79.1	91.9	93.6	93.4	90.7	93.6	93.3	93.6
3000		78.7	90.1	91.2	91.0	89.1	90.8	91.0	90.9
3500		77.9	87.0	87.4	87.6	86.7	87.4	87.4	87.2
4000		75.0	80.6	81.5	80.9	79.8	80.2	79.4	79.8
500	TRES	79.9	96.1	100.1	99.9	93.7	100.2	100.1	100.2
1000		79.8	95.7	99.0	99.5	93.4	99.6	99.5	99.4
1500		79.6	95.2	98.8	98.9	93.0	98.6	98.8	98.9
2000		79.5	94.7	97.9	98.0	92.7	97.9	98.0	98.2
2500		79.4	94.1	97.1	97.1	92.1	97.2	97.0	97.2
3000		79.3	93.4	95.9	96.1	91.5	96.1	96.0	96.2
3500		79.2	92.7	94.8	95.0	90.9	94.9	94.9	94.7
4000		79.0	91.9	93.7	93.5	90.2	93.3	93.3	93.5
4500		78.7	90.6	92.1	92.0	89.0	91.7	91.8	91.6
5000		78.3	88.7	89.6	90.0	87.7	89.8	89.6	89.6
5500		77.6	86.6	86.8	86.9	86.0	86.4	86.3	86.3
6000		76.0	81.0	81.4	80.2	79.6	80.7	81.1	80.9

En ésta se muestra la velocidad media de todos los experimentos de manera que se facilita la identificación de las condiciones experimentales en que se han producido.

En las siguientes tablas se recoge el cambio de velocidad media que se origina modificando solo un parámetro del estudio y manteniendo el resto fijos. En la tabla A se varía el flujo, en la B la velocidad máxima de la vía, en la C el nivel de aceptación de la velocidad máxima, y en la última el número de carriles.

Las tablas proporcionan la variación respecto el nivel inmediatamente anterior y las identifica con el sombreado del fondo.

A

Flujo	Carriles	100				120			
		0.8	1	1.2	1.4	0.8	1	1.2	1.4
500	UN	79.8	94.2	95.7	95.6	92.2	95.4	95.2	95.6
1000		-0.5	-3.1	-3.8	-4.2	-2.0	-4.3	-3.6	-3.9
1500		-0.7	-4.0	-5.0	-4.3	-3.0	-4.4	-4.3	-4.5
2000		-3.4	-7.4	-7.6	-8.6	-8.6	-8.5	-8.7	-9.1
500	DOS	79.9	95.9	100.0	99.8	93.8	99.5	99.5	99.3
1000		-0.2	-0.4	-1.7	-1.1	-0.7	-1.1	-1.1	-0.7
1500		-0.1	-1.1	-1.0	-1.3	-0.7	-1.4	-1.3	-1.7
2000		-0.2	-0.8	-2.1	-2.1	-0.7	-1.6	-1.7	-1.7
2500		-0.3	-1.7	-1.6	-1.9	-1.0	-1.8	-2.1	-1.6
3000		-0.4	-1.7	-2.4	-2.4	-1.6	-2.8	-2.3	-2.7
3500		-0.8	-3.1	-3.8	-3.4	-2.4	-3.4	-3.6	-3.7
4000		-2.9	-6.4	-5.9	-6.7	-6.9	-7.2	-8.0	-7.4
500	TRES	79.9	96.1	100.1	99.9	93.7	100.2	100.1	100.2
1000		-0.1	-0.4	-1.1	-0.4	-0.3	-0.6	-0.6	-0.8
1500		-0.2	-0.5	-0.2	-0.6	-0.4	-1.0	-0.7	-0.5
2000		-0.1	-0.5	-0.9	-0.9	-0.3	-0.7	-0.8	-0.7
2500		-0.1	-0.6	-0.8	-0.9	-0.6	-0.7	-1.0	-1.0
3000		-0.1	-0.7	-1.2	-1.0	-0.6	-1.1	-1.0	-1.0
3500		-0.1	-0.7	-1.1	-1.1	-0.6	-1.2	-1.1	-1.5
4000		-0.2	-0.8	-1.1	-1.5	-0.7	-1.6	-1.6	-1.2
4500		-0.3	-1.3	-1.6	-1.5	-1.2	-1.6	-1.5	-1.9
5000		-0.4	-1.9	-2.5	-2.0	-1.3	-1.9	-2.2	-2.0
5500		-0.7	-2.1	-2.8	-3.1	-1.7	-3.4	-3.3	-3.3
6000	-2.3	-7.7	-8.2	-9.7	-8.1	-9.1	-8.5	-8.7	

B

Flujo	Carriles	100				120			
		0.8	1	1.2	1.4	0.8	1	1.2	1.4
500	UN	79.8	94.2	95.7	95.6	12.4	1.2	-0.5	0.0
1000		79.3	91.1	91.9	91.4	10.9	0.0	-0.3	0.3
1500		78.6	87.1	86.9	87.1	8.6	-0.4	0.4	0.1
2000		75.2	79.7	79.3	78.5	3.4	-1.5	-0.7	-0.4
500	DOS	79.9	95.9	100.0	99.8	13.9	3.6	-0.5	-0.5
1000		79.7	95.5	98.3	98.7	13.4	2.9	0.1	-0.1
1500		79.6	94.4	97.3	97.4	12.8	2.6	-0.2	-0.5
2000		79.4	93.6	95.2	95.3	12.3	1.8	0.2	-0.1
2500		79.1	91.9	93.6	93.4	11.6	1.7	-0.3	0.2
3000		78.7	90.1	91.2	91.0	10.4	0.7	-0.2	-0.1
3500		77.9	87.0	87.4	87.6	8.8	0.4	0.0	-0.4
4000		75.0	80.6	81.5	80.9	4.8	-0.4	-2.1	-1.1
500	TRES	79.9	96.1	100.1	99.9	13.8	4.1	0.0	0.3
1000		79.8	95.7	99.0	99.5	13.6	3.9	0.5	-0.1
1500		79.6	95.2	98.8	98.9	13.4	3.4	0.0	0.0
2000		79.5	94.7	97.9	98.0	13.2	3.2	0.1	0.2
2500		79.4	94.1	97.1	97.1	12.7	3.1	-0.1	0.1
3000		79.3	93.4	95.9	96.1	12.2	2.7	0.1	0.1
3500		79.2	92.7	94.8	95.0	11.7	2.2	0.1	-0.3
4000		79.0	91.9	93.7	93.5	11.2	1.4	-0.4	0.0
4500		78.7	90.6	92.1	92.0	10.3	1.1	-0.3	-0.4
5000		78.3	88.7	89.6	90.0	9.4	1.1	0.0	-0.4
5500		77.6	86.6	86.8	86.9	8.4	-0.2	-0.5	-0.6
6000	76.0	81.0	81.4	80.2	3.6	-0.3	-0.3	0.7	

C

Flujo	Carriles	100				120			
		0.8	1	1.2	1.4	0.8	1	1.2	1.4
500	UN	79.8	14.4	1.5	-0.1	92.2	3.2	-0.2	0.4
1000		79.3	11.8	0.8	-0.5	90.2	0.9	0.5	0.1
1500		78.6	8.5	-0.2	0.2	87.2	-0.5	0.6	-0.1
2000		75.2	4.5	-0.4	-0.8	78.6	-0.4	0.4	-0.5
500	DOS	79.9	16.0	4.1	-0.2	93.8	5.7	0.0	-0.2
1000		79.7	15.8	2.8	0.4	93.1	5.3	0.0	0.2
1500		79.6	14.8	2.9	0.1	92.4	4.6	0.1	-0.2
2000		79.4	14.2	1.6	0.1	91.7	3.7	0.0	-0.2
2500		79.1	12.7	1.7	-0.2	90.7	2.9	-0.3	0.3
3000		78.7	11.4	1.0	-0.2	89.1	1.7	0.2	-0.1
3500		77.9	9.1	0.4	0.2	86.7	0.7	0.0	-0.2
4000		75.0	5.6	0.9	-0.6	79.8	0.4	-0.8	0.4
500	TRES	79.9	16.2	4.0	-0.2	93.7	6.5	-0.1	0.1
1000		79.8	15.9	3.3	0.5	93.4	6.2	-0.1	-0.1
1500		79.6	15.6	3.6	0.1	93.0	5.6	0.2	0.1
2000		79.5	15.2	3.2	0.1	92.7	5.2	0.1	0.2
2500		79.4	14.7	3.0	0.0	92.1	5.1	-0.2	0.2
3000		79.3	14.1	2.5	0.1	91.5	4.6	-0.1	0.2
3500		79.2	13.5	2.1	0.2	90.9	4.0	0.0	-0.2
4000		79.0	12.9	1.8	-0.1	90.2	3.1	0.0	0.2
4500		78.7	11.9	1.5	-0.1	89.0	2.7	0.1	-0.2
5000		78.3	10.4	0.9	0.3	87.7	2.1	-0.2	0.0
5500		77.6	9.0	0.2	0.1	86.0	0.4	-0.1	0.0
6000		76.0	5.0	0.4	-1.2	79.6	1.1	0.4	-0.2

D

Flujo	Carriles	100				120			
		0.8	1	1.2	1.4	0.8	1	1.2	1.4
500	UN	79.8	94.2	95.7	95.6	92.2	95.4	95.2	95.6
1000		79.3	91.1	91.9	91.4	90.2	91.1	91.6	91.7
1500		78.6	87.1	86.9	87.1	87.2	86.7	87.3	87.2
2000		75.2	79.7	79.3	78.5	78.6	78.2	78.6	78.1
500	DOS	0.1	1.7	4.3	4.2	1.6	4.1	4.3	3.7
1000		0.4	4.4	6.4	7.3	2.9	7.3	6.8	6.9
1500		1.0	7.3	10.4	10.3	5.2	10.3	9.8	9.7
2000		4.2	13.9	15.9	16.8	13.1	17.2	16.8	17.1
2500		79.1	91.9	93.6	93.4	90.7	93.6	93.3	93.6
3000		78.7	90.1	91.2	91.0	89.1	90.8	91.0	90.9
3500		77.9	87.0	87.4	87.6	86.7	87.4	87.4	87.2
4000		75.0	80.6	81.5	80.9	79.8	80.2	79.4	79.8
500	TRES	0.0	0.2	0.1	0.1	-0.1	0.7	0.6	0.9
1000		0.1	0.2	0.7	0.8	0.3	1.2	1.1	0.8
1500		0.0	0.8	1.5	1.5	0.6	1.6	1.7	2.0
2000		0.1	1.1	2.7	2.7	1.0	2.5	2.6	3.0
2500		0.3	2.2	3.5	3.7	1.4	3.6	3.7	3.6
3000		0.6	3.3	4.8	5.1	2.4	5.3	5.0	5.3
3500		1.3	5.7	7.4	7.4	4.2	7.5	7.5	7.5
4000		3.9	11.3	12.2	12.7	10.4	13.1	13.9	13.7
4500		78.7	90.6	92.1	92.0	89.0	91.7	91.8	91.6
5000		78.3	88.7	89.6	90.0	87.7	89.8	89.6	89.6
5500		77.6	86.6	86.8	86.9	86.0	86.4	86.3	86.3
6000		76.0	81.0	81.4	80.2	79.6	80.7	81.1	80.9

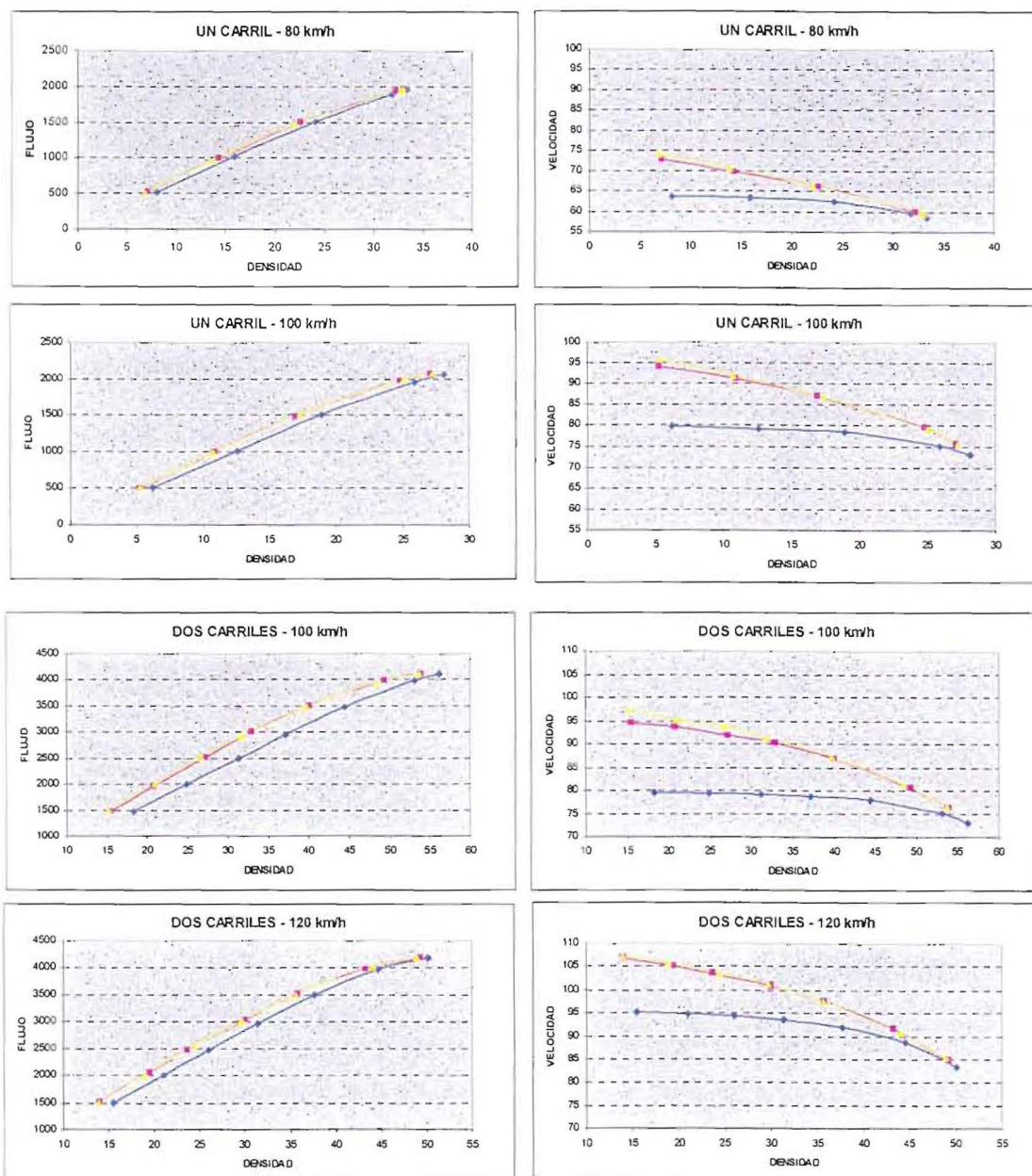
Las tablas reflejan numéricamente todas las conclusiones a las que hemos ido llegando a medida que analizábamos los gráficos.

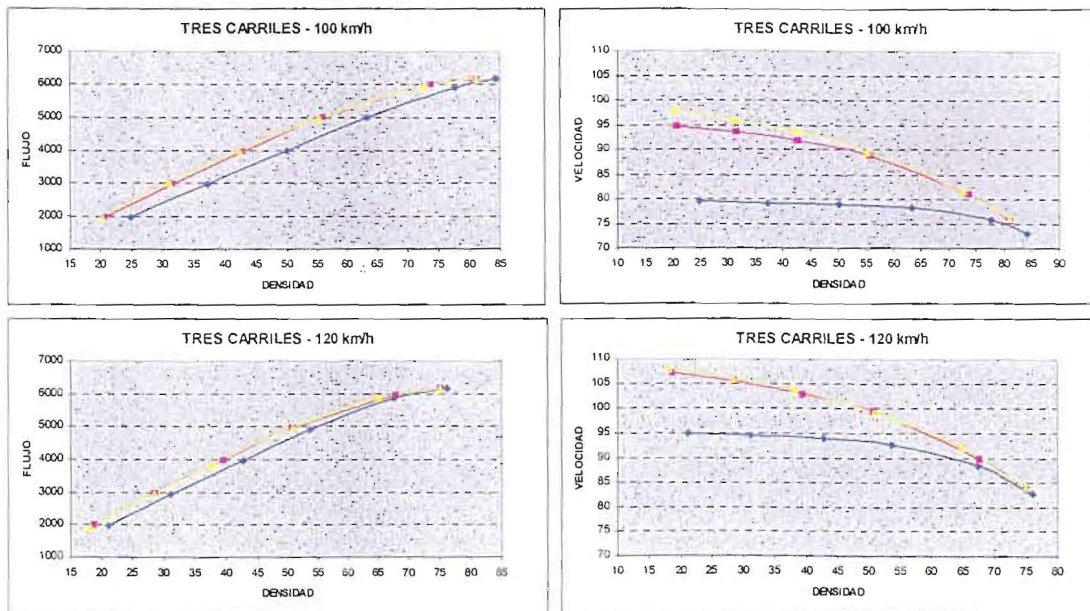
Antes de finalizar la comparación es conveniente recordar que la velocidad deseada del vehículo también influye en la velocidad media de circulación, ya que los resultados que se han obtenido en el presente estudio ($V_d \sim N [100,10] \in [80,130]$) difieren de los que se obtuvieron cuando la velocidad deseada era distinta ($V_d \sim N [110,10] \in [90,150]$). En este estudio se ha considerado que lo más conveniente era mantener este parámetro fijo, aunque sea un factor relevante para el cálculo de la velocidad deseada en cada sección, porque en el sistema real es difícil diferenciar dos momentos en los que la V_d tenga niveles distintos, y porque diferenciar dos o más niveles eleva exponencialmente la cantidad de experimentos a realizar.

3.1.3 GRÁFICOS FLUJO-DENSIDAD Y VELOCIDAD-DENSIDAD

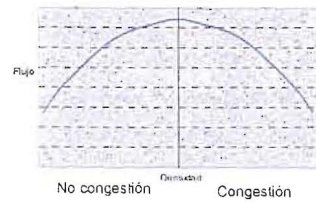
El objetivo es reproducir las curvas fundamentales del tráfico que relacionan las variables flujo, densidad y velocidad. Para ello se han utilizado los datos obtenidos en la experimentación con el modelo free-flow (págs 29, 31 y 33).

Cada color representa un nivel de aceptación diferente : ■ 0.8, ■ 1.0 y ■ 1.2.



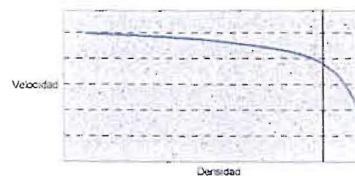


Teóricamente la curva flujo-densidad tienen forma de campana:



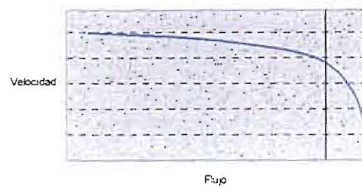
En la parte de no congestión, es decir, cuando se circula libremente, el aumento de flujo implica que la densidad aumente (como se observa en los gráficos); y en la parte de congestión a pesar de que el flujo que entra por unidad de tiempo es menor la densidad sigue aumentando.

Teóricamente la curva velocidad-densidad tiene la forma:



En la parte de no congestión, a medida que aumenta la densidad la velocidad de los vehículos disminuye lentamente, y en la de congestión como la densidad es tan elevada ésta disminuye mucho más rápido.

La curva velocidad-flujo teórica tiene la misma forma que la curva de la velocidad-densidad. En la parte de no congestión, la velocidad disminuye a medida que se va incorporando más flujo a la vía, y en la de congestión aunque el flujo que consigue entrar es menor la velocidad no cesa de disminuir.



En todas las gráficas obtenidas en la simulación se observa solamente la parte de no congestión, ya que el modelo que están describiendo es el free-flow.

3.2 MODELO REDUCCIÓN DE VELOCIDAD

En el modelo free-flow los vehículos podían circular libremente sin tener que reducir nunca su velocidad, ya que en la vía no había nada que les forzara a hacerlo. Ahora para que no suceda esto, en el nuevo modelo se va a intercalar un tramo que obligue a los vehículos a circular a menor velocidad que en el resto de la vía.

En la realidad esta situación se repite muy a menudo, por eso se ha creído conveniente crear un escenario que la represente. Normalmente los vehículos suelen reducir la velocidad porque la señalización de la vía o las condiciones de tráfico lo exigen. Por ejemplo, se circula más despacio cuando llueve intensamente o hay niebla, cuando la vía está en obras o en mal estado, o cuando se ha producido cerca un accidente.

PARÁMETROS DEL MODELO Y SUS NIVELES

El modelo está constituido por el siguiente conjunto de parámetros fijos y variables:

Parámetros fijos:

- La vía tiene 3 carriles y mide 3.5 km.
- La velocidad máxima de la vía principal es 120 km/h.
- La V_d y θ siguen sendas distribuciones normales:

$$V_d \sim N(110, 10) \in [90, 140]$$

$$\theta \sim N(1.0, 0.1) \in [0.8, 1.3]$$

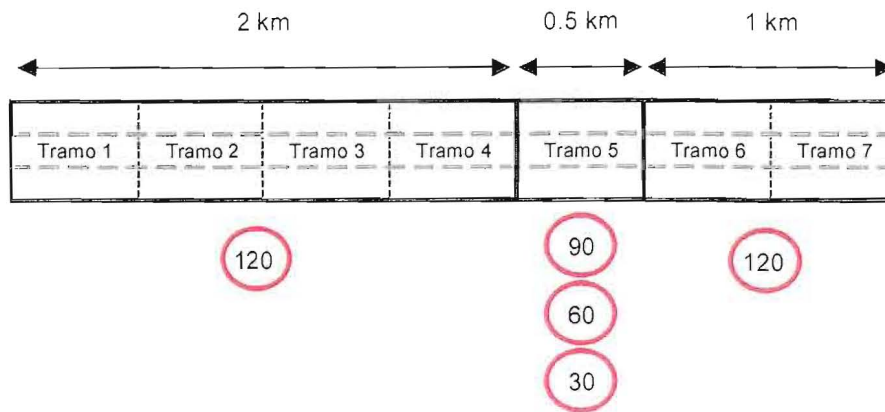
Parámetros variables:

- El flujo variará entre 4000, 5000 y 6000 veh/h.
- La velocidad máxima del tramo especial será 90, 60 y 30 km/h.

Los parámetros que no se mencionan se mantienen iguales que en el modelo free-flow (longitud y anchura del vehículo, aceleración y deceleración máxima y deceleración normal).

Concretamente, la vía se compone de 7 tramos de $\frac{1}{2}$ km. Durante los 4 primeros y los 2 últimos la velocidad máxima permitida es 120 km/h y durante el 5º se reduce hasta uno de los tres niveles citados anteriormente.

Esta composición de la vía permite estudiar la evolución de la velocidad media de circulación antes, durante y después del tramo especial (5º tramo), ya que nos posibilita tomar estadísticas en siete puntos distintos de la vía, siempre al final de cada uno de los tramos.



OBJETIVO DE LA EXPERIMENTACIÓN

Analizar en diferentes condiciones de tráfico la influencia de distintos tramos especiales en el desarrollo normal de la circulación. La variable respuesta será, como en anteriores ocasiones, la velocidad media de los vehículos.

EXPERIMENTOS

La duración de los experimentos será de 1 hora y el periodo warm-up o periodo de carga de la red se alargará hasta 4 minutos. Este tiempo es el que nos permite garantizar que la vía está llena cuando el simulador empieza a recoger las estadísticas (determinado a través del tiempo de viaje obtenido en las pruebas piloto).

Al igual que como se hizo en el modelo free-flow se realizarán 3 réplicas de cada experimento y se trabajará con el valor medio de las tres. De esta manera, comparando los valores obtenidos por las réplicas, se pueden depurar los resultados anómalos, y en el caso que se colara alguno, la media suavizaría su influencia.

Las estadísticas, además de recogerse en los 7 tramos, se obtendrán cada 15 minutos, para poder estudiar también cómo evoluciona la velocidad media en función del tiempo.

Número total de experimentos a realizar:

Flujo	V_{max}	θ	V_d	Réplicas	Total
3	3	1	1	3	27

Se necesitarán hacer un total de 27 experimentos, 9 por cada nivel del flujo ($3 V_{max} \times 3$ réplicas) y/o 9 por cada nivel de la V_{max} en el tramo especial de la vía (3 flujos $\times 3$ réplicas).

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Los resultados obtenidos en la experimentación con este modelo se muestran en la página 143 del anexo y se resumen en la siguiente tabla:

Tramo	Vel. Máx.	4000				5000				6000			
		15'	30'	45'	60'	15'	30'	45'	60'	15'	30'	45'	60'
1	90	100.5	100.4	100.8	101.1	96.5	95.2	95.9	94.7	78.9	74.7	72.4	78.0
2		100.8	101.8	102.1	102.0	97.9	98.2	98.7	98.1	86.1	83.6	81.4	86.8
3		100.5	101.8	102.1	102.0	97.6	98.5	99.2	98.4	83.9	81.9	81.1	84.8
4		99.3	101.0	101.2	100.7	94.9	95.6	97.0	95.9	79.1	78.9	78.4	79.8
5		83.1	84.8	84.8	84.7	80.4	81.7	82.4	81.8	75.3	76.6	76.3	76.7
6		97.4	99.2	99.5	99.2	95.9	96.7	97.1	96.8	90.7	92.2	91.8	92.2
7		101.3	103.1	103.4	103.0	99.1	100.5	100.7	100.5	95.3	96.5	96.7	96.8
Flujo simulado		4015				4983				6008			
1	60	100.9	100.2	100.8	99.9	95.3	95.2	94.9	95.9	62.3	49.0	49.9	49.6
2		100.7	101.7	102.1	101.6	97.5	98.1	97.8	98.6	65.1	54.7	55.5	55.2
3		100.2	101.5	102.1	101.9	96.6	98.0	98.1	98.5	58.8	54.9	55.1	54.9
4		94.5	94.9	95.4	94.3	82.0	83.2	83.1	84.1	52.1	52.3	52.4	52.0
5		55.4	56.6	56.7	56.6	52.5	53.8	53.7	53.9	49.3	50.2	50.4	50.4
6		90.7	92.5	92.5	92.8	89.5	91.2	91.1	91.1	87.9	89.3	89.2	89.2
7		101.1	102.6	102.7	102.9	98.8	100.6	100.5	100.8	96.9	98.1	98.0	97.8
Flujo simulado		4031				5074				5650			
1	30	101.1	100.5	100.8	100.4	95.3	80.8	32.5	27.1	52.1	26.5	26.4	26.5
2		101.1	101.7	101.8	101.7	94.7	47.7	27.5	27.1	41.5	27.6	27.2	27.3
3		101.1	101.7	101.9	102.0	73.6	30.4	27.3	27.1	31.7	27.5	27.2	27.2
4		75.5	74.3	74.7	74.6	34.6	26.9	26.9	26.7	26.2	27.1	26.8	26.8
5		25.9	27.0	26.9	27.0	24.2	25.2	25.2	25.2	24.2	25.4	25.3	25.0
6		83.0	84.8	84.6	84.9	83.0	84.4	84.5	84.2	82.6	84.3	84.2	84.3
7		101.2	102.9	102.9	102.9	100.1	101.3	101.0	101.2	99.8	101.0	101.0	100.9
Flujo simulado		4006				4619				4619			

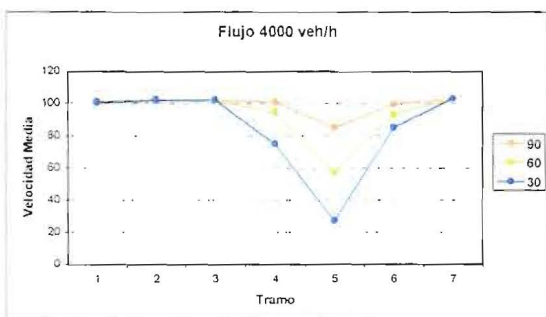
Observamos que las vías simuladas no nos permiten siempre introducir el flujo que deseamos, puesto que la capacidad de éstas es limitada. En el escenario 2 ($V_{max} = 60$) la capacidad de la vía solo permite incorporar 5650 veh/h y en el escenario 3 ($V_{max} = 30$), 4619 veh/h.

Cuando sucede esto la velocidad media en cada tramo no permanece constante a lo largo del tiempo, sino que va variando en función de la cantidad de vehículos que hay en la vía.

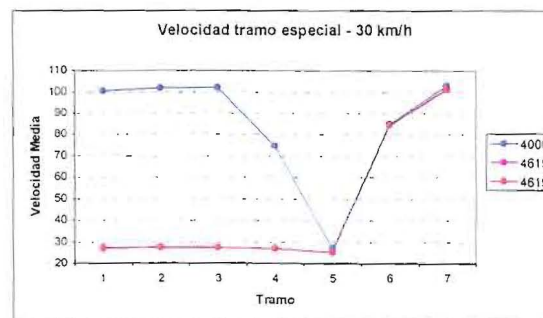
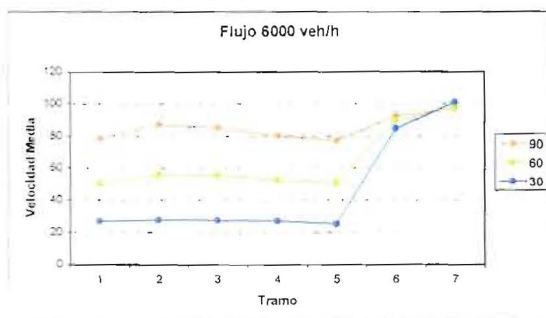
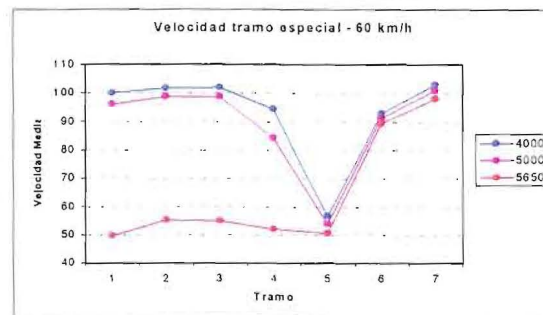
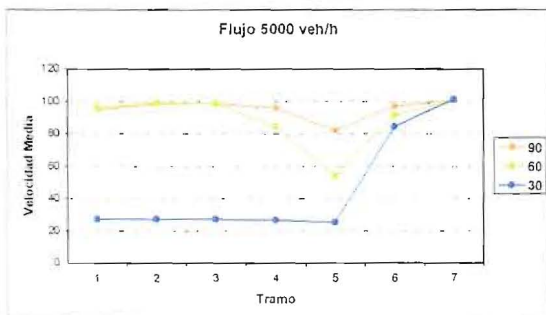
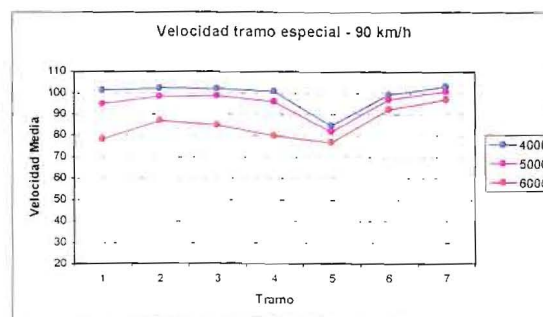
ESTUDIO DE LA VELOCIDAD MEDIA

Para analizar la velocidad media se representarán gráficamente los datos que se han obtenido en la experimentación. En concreto, se realizarán tres grupos de gráficas: el primero y el segundo mostrarán la velocidad media en cada tramo en función de V_{max} del tramo especial y del flujo respectivamente; y el tercero presentará la evolución de la velocidad media cuando la vía no ha sido capaz de absorber el flujo deseado.

Flujo constante y V_{max} variable



V_{max} constante y flujo variable



Las observaciones siguientes se refieren solamente a los casos en los que se ha podido introducir el flujo deseado. El resto se estudiarán aparte, ya que la variabilidad observada en función del tiempo merece que se analice temporalmente.

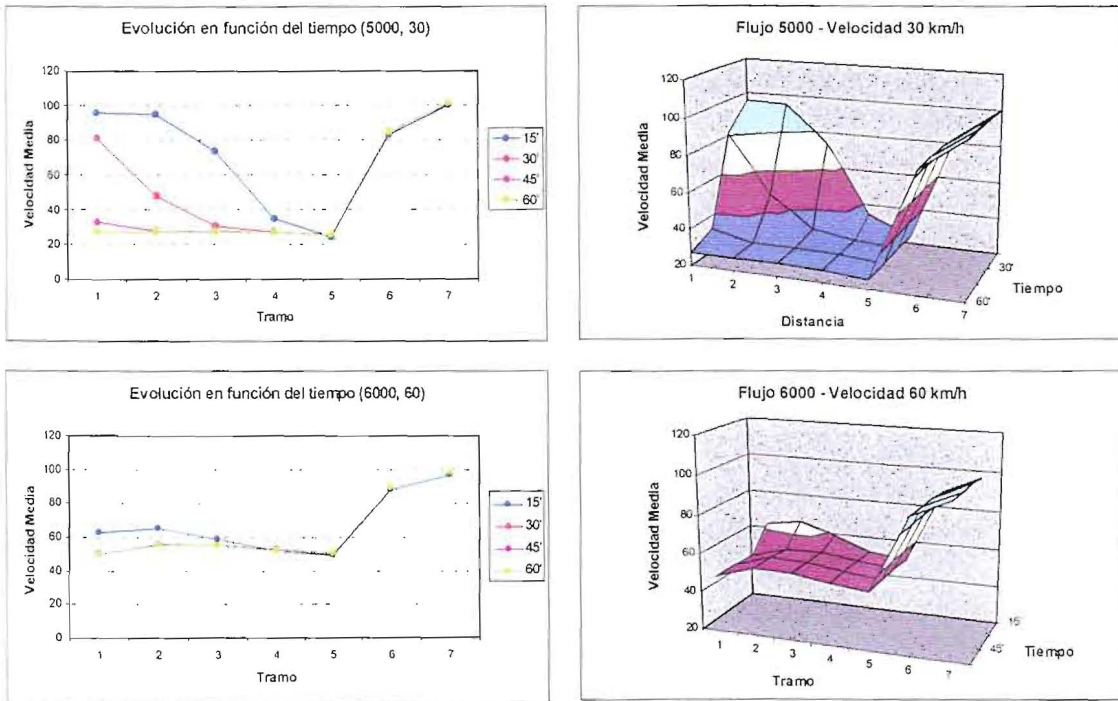
En el primer tramo (0 - ½ km) los vehículos circulan a una velocidad ligeramente inferior a la del siguiente, debido a la forma de generar los vehículos. El simulador no puede introducir vehículos a la velocidad que deseamos si entre ellos no hay suficiente distancia, por eso como se tienen que incorporar flujos muy elevados los introduce a menor velocidad.

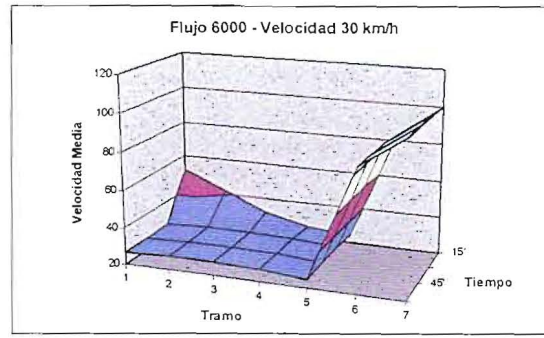
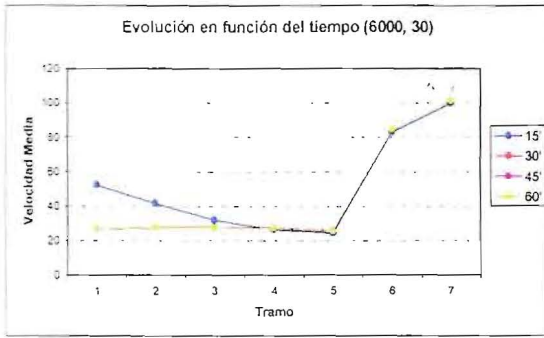
En el siguiente tramo (½ - 1 km), los vehículos incrementan su velocidad en función del flujo, ya que se observa que cuanto mayor es el flujo mayor es la diferencia entre la velocidad de introducción a la vía y la velocidad en el 2º tramo.

En el tercero (1 - 1 y ½ km) la velocidad se estabiliza o aumenta muy poco, excepto cuando el flujo incorporado es de 6000 veh/h que disminuye. En el cuarto, tramo anterior a la reducción, en todos los casos se experimenta una disminución de velocidad, que depende del flujo y de la V_{max} del siguiente tramo.

En el quinto (2 - 2 y ½ km) la velocidad de los vehículos, afectada por la señalización, disminuye drásticamente y se sitúa por debajo de la limitación. A continuación, en el sexto y séptimo tramo los vehículos aceleran libremente hasta alcanzar la velocidad máxima deseada, siempre que la velocidad máxima de la vía lo permita, 120 km/h.

Velocidad media en función del tiempo y del tramo cuando no se incorpora el flujo deseado





Los colores que se observan en los gráficos 3-D reflejan distintas velocidades medias: entre 20 y 40 en violeta, 40-60 en granate, 60-80 en amarillo, 80-100 en azul y 100-120 en negro.

La influencia de la reducción es evidente desde el minuto 15, ya que la velocidad a la que el simulador genera los vehículos es muy inferior a la esperada. Posteriormente, a medida que transcurre el tiempo la velocidad decrece hasta los límites establecidos en el tramo especial, en función del flujo y de la V_{max} .

Flujo deseado 5000 – V_{max} 30 km/h

En el minuto 15 la reducción afecta al cuarto tramo totalmente (≈ 38 km/h) y empieza a afectar al tercero (≈ 75 km/h). A los 30 minutos el tercer tramo está totalmente afectado (≈ 30 km/h) y el segundo bastante (≈ 48 km/h). A los 45 minutos la reducción ya ha llegado a afectar al primer tramo de la vía.

Flujo deseado 6000 – V_{max} 60, 30 km/h

En el minuto 15 ya están afectados todos los tramos de la vía, pero los dos primeros lo están un poco menos que en el minuto 30 y posteriores.

CONCLUSIONES

- La afluencia de vehículos impide que éstos puedan circular a la velocidad que desean.

Flujo	Vel. Deseada	Vel. Media *
4000		102.9
5000	110	100.6
6000		96.8

* Promedio de la velocidad a la que se circula en el último tramo (donde se alcanza la mayor velocidad de circulación)

- La velocidad media en el tramo donde se aplica la reducción depende del flujo de entrada y de la velocidad máxima permitida.

Flujo	90	60	30
4000	84.7	56.6	27.0
5000	81.8	53.9	
6000	76.7		

- Después del tramo especial los vehículos recuperan la velocidad de circulación normal en menos de 1 kilómetro.
- Reducir la velocidad máxima de un tramo de la vía (de 120 a 90, 60 ó 30 km/h) no repercute siempre de la misma manera en los tramos anteriores:
 - Cuando el flujo es 4000 veh/h la reducción solo afecta en la velocidad media del tramo inmediatamente anterior.
 - Cuando el flujo es 5000 veh/h la reducción solo afecta al tramo anterior cuando la V_{max} del tramo especial es de 90 y 60 km/h. Cuando la reducción es hasta 30 km/h con el paso del tiempo repercute en todos los tramos anteriores (a los 45' la velocidad de circulación en los tramos anteriores al especial se estabiliza alrededor de los 27 km/h).
 - Cuando el flujo es 6000 veh/h y la V_{max} 90 km/h, la reducción se inicia entre uno y medio kilómetro antes, en el resto de los casos a la larga repercute en todos (después de 30' la velocidad media se estabiliza alrededor de los 55 y 27 km/h para los niveles de velocidad máxima de 60 y 30 km/h respectivamente).

Cuanto mayor es la reducción de la velocidad más grande es el decremento de la velocidad media en los tramos anteriores. En la siguiente tabla se muestra la disminución observada en el tramo anterior al especial en función de la V_{max} del último.

4000		5000	
V_{max}	Disminución	V_{max}	Disminución
90	1.3	90	2.5
60	7.6	60	14.4
30	27.4		

- Cuanto mayor es la reducción de la V_{max} en el tramo especial menor es el flujo necesario para colapsar la vía y, cuanto mayor es el flujo menor es el tiempo que tarda en colapsarse.

Flujo	Velocidad	15'	30'	45'	60'
5000	30	95.3	80.8	32.5	27.1
6000	60	62.3	49.0	49.9	49.6
6000	30	52.1	26.5	26.4	26.5

En la tabla se muestra la velocidad media en función del tiempo a 1 kilómetro del principio del tramo especial.

CAPÍTULO 4

Simulación de una red de tráfico real

4. SIMULACIÓN DE UNA RED DE TRÁFICO REAL

Hasta el momento, todos los experimentos han sido realizados en escenarios ficticios y muy simples, creados a conciencia para adquirir experiencia en la calibración de modelos y facilitar el análisis de variables del sistema, como el flujo de vehículos, la velocidad media, la longitud de las colas o la densidad de las secciones. La geometría de las redes y las condiciones de tráfico implementadas en estos experimentos no reproducían ningún tramo real concreto de la red viaria, solamente se pretendía que fueran representativas.

En esta segunda parte el objetivo del estudio cambia, por tanto la forma de experimentar también lo hace. Ahora el objetivo es reproducir el comportamiento de una red de tráfico real y una vez establecidas las relaciones entre los objetos que componen el sistema y validado el modelo de simulación, mediante la experimentación valorar la política de gestión que se lleva a cabo.

4.0 CAN VIDALET

El término municipal de Esplugues de Llobregat, con una extensión de 4,60 Km², está situado en la planicie del Llobregat (LONG 2° 4' 45'', LAT 4° 21'1'' N). Pertenece al Baix Llobregat, y limita con los siguientes municipios y ciudades: Sant Just Desvern, Sant Joan Despí, Cornellà de Llobregat, Hospitalet de Llobregat y Barcelona.

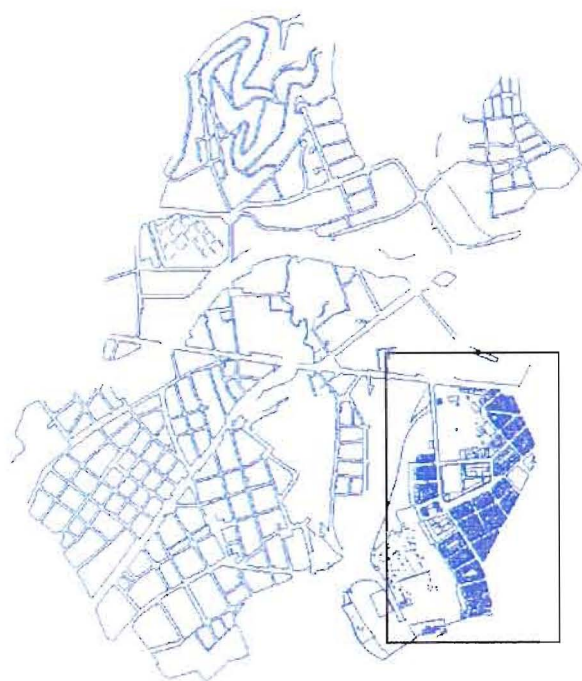


Fig 1. Mapa de Esplugues de Llobregat

La red de tráfico elegida para ser simulada comprende los tramos de vía urbana que constituyen uno de los barrios de Esplugues de Llobregat, concretamente el de Can Vidalet.

Can Vidalet es el barrio más poblado de Esplugues de Llob. (15.418 hab.), y por tanto uno de los más transitados de los 8 barrios que tiene el municipio (Can Clota, Montesa, Centre-Mallola, Miranda-C.Diagonal, Gall, Finestrelles y La Plana). En las páginas 145-148 del anexo se amplía la información sobre el barrio.



Se ha elegido esta red por varios motivos:

- porque la conocemos mejor que ninguna otra red, ya que ambos residimos en Can Vidalet y transitamos por ella diariamente (amplio conocimiento del sistema).

Esto permitirá que podamos crear un modelo de simulación que la represente fielmente. Si no la conociéramos se tendría que realizar una fase previa de reconocimiento del sistema para localizar sus accesos, sus semáforos, sus señales, etc...

- porque la Policía Local de Esplugues se compromete a proporcionarnos información sobre la red y un mapa digitalizado del barrio.
- porque no será necesario desplazarse cuando haya que recoger datos sobre las condiciones de tráfico, por tanto el tiempo y el coste de esta fase será menor.

- porque en Can Vidalet se pueden encontrar cruces regulados por semáforos, cruces regulados por señales, tramos en los que está limitada la velocidad, muchas entradas y salidas, calles de único sentido, de doble sentido, de un carril, de más de un carril, etc...

4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Recordemos que para construir un modelo AIMSUN2 requiere los siguientes datos de entrada: la descripción de la red de tráfico, el plan de control de tráfico y las condiciones de tráfico.

- la descripción de la red engloba la información sobre la geometría o estructura de la red y los elementos de infraestructura que se encuentran sobre ella.
- el plan de control de tráfico solamente es necesario cuando en la infraestructura hay cruces regulados por semáforos para establecer la secuencia de fases, la duración de cada una y la definición de los giros permitidos para cada fase.
- las condiciones de tráfico vienen determinadas por variables como: los tipos de vehículos y sus características físicas, el volumen de tráfico en los arcos de entrada y las proporciones de giro para cada arco.

Anteriormente se manipulaba esta información a nuestra conveniencia, dependiendo solamente del objetivo de la experimentación, mientras que ahora cada uno de los parámetros requeridos es un valor real (fijo o variable), que habrá que averiguar.

Algunos parámetros, como por ejemplo, los relacionados con la geometría o estructura de la red los conoceremos de forma determinista, pero hay muchos otros que tendremos que estimar con los datos que se hayan recogido en la propia red (trabajo de campo).

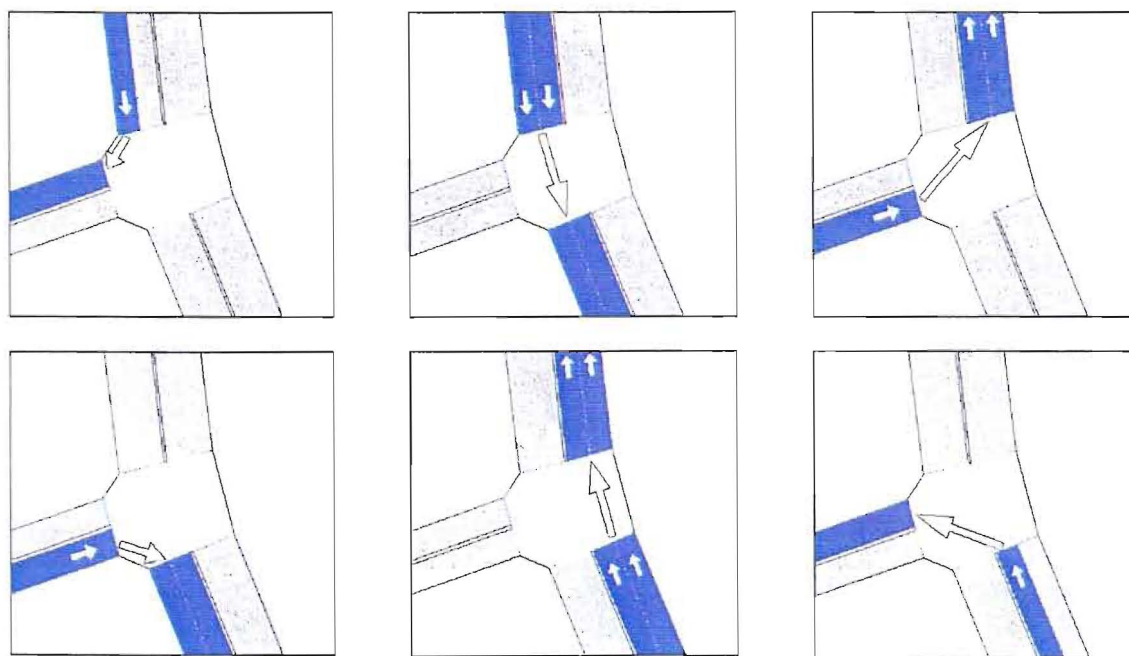
La elección del procedimiento a seguir en la recogida de datos dependerá del parámetro que se desee estimar y del coste en tiempo que requiera. Se procurará emplear el método más simple que minimice la probabilidad de cometer errores.

4.1.1 Descripción Geométrica

La descripción geométrica de la red consiste en reproducir en la computadora el escenario donde se van a realizar los experimentos, es decir, en introducir en AIMSUN2 las características físicas de la red de tráfico.

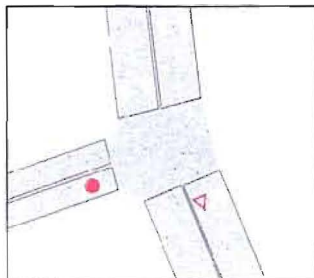
La información necesaria sobre la estructura e infraestructura de la red se obtiene a partir del estudio de campo realizado y del mapa digitalizado del barrio. En el estudio de campo se obtienen datos como el nº de carriles, el sentido de las calles, la disposición de los semáforos y de las señales, los giros posibles, etc; y del mapa digitalizado entre otros, la longitud de las calles, la anchura de los carriles, la amplitud de los cruces.

Una vez disponemos de toda esta información se dibujan las secciones y los cruces existentes utilizando el mapa digitalizado del barrio como fondo del editor Tedi (para asegurar que la disposición de secciones y cruces sea la correcta). A continuación se especifican el número de carriles, las velocidades máximas para cada sección y se definen los giros permitidos de cada cruce, incluyendo detalles sobre cuales son los carriles desde los cuales se puede realizar cada giro y la velocidad a la que se puede realizar.



Estas ilustraciones muestran los 6 movimientos posibles del cruce resultante de la intersección entre la calle Molí y la Jocs Florals (cruce nº 6).

Y para finalizar se establecen las prioridades de paso reales, mediante la colocación de semáforos y señales de “ceda el paso” y “stop”.



Cruce nº 6

C. del Molí / C. dels Jocs Florals

Las señales de tráfico colocadas en este cruce obligan a los vehículos que se aproximen a ellas a detenerse y ceder el paso respectivamente.

El resultado es el siguiente:

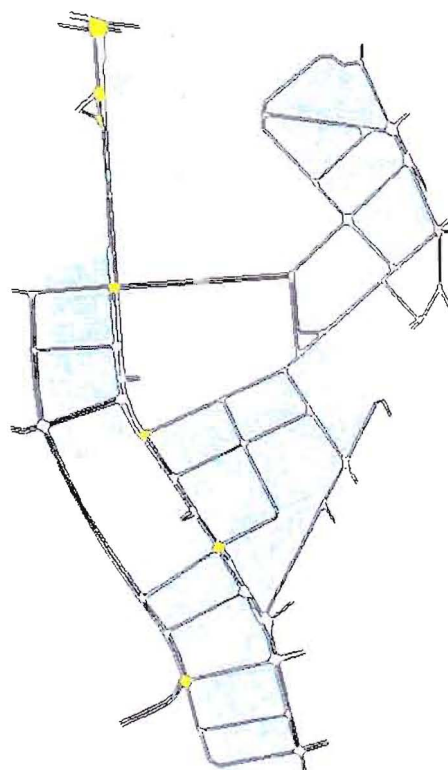


Fig 3. Geometría de la red de tráfico

4.1.2 Plan de control de tráfico

El plan de control de tráfico proporciona a AIMSUN2 la información necesaria para simular el funcionamiento de los semáforos de la red.

Los semáforos no se definen de forma individual – para cada calle o giro – sino que se define el conjunto de semáforos de todo un cruce mediante la especificación de las fases en que se divide el ciclo semafórico y el conjunto de giros permitido en cada una.

Exactamente los datos de entrada que se requieren son:

- Para cada cruce: la duración del ciclo semafórico, las fases que lo forman y su desfase respecto el ciclo semafórico escogido como referencia.
- Para cada fase: los movimientos o giros que tienen derecho de paso y la prioridad entre éstos en caso que existan conflictos.

Como no disponemos de la duración del ciclo semafórico ni de la división en fases de cada cruce tenemos que recogerlos. Mediante una plantilla de recogida de datos (véase pág. 153 del anexo), se obtiene en cada semáforo la hora en la que se producen 10 cambios consecutivos de color, y a partir de estas medidas se calcula el tiempo que está activado cada color (verde, ámbar y rojo) y la duración de los ciclos semafóricos.

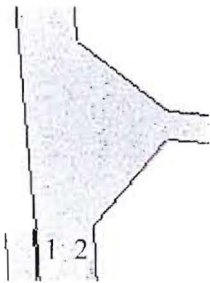
Se recogen 10 cambios consecutivos de color para tener 3 estimaciones de cada uno de los datos que se necesitan, y así evitar posibles errores de medición. También, para asegurarnos que se han tomado los tiempos correctamente, se comprueba que la duración de los ciclos semafóricos de todos los semáforos que pertenecen a un mismo cruce, sea el mismo.

En Can Vidalet hay 6 cruces semaforizados e intervienen un total de 12 semáforos distintos, por lo que habrá que cumplimentar 12 plantillas. En cada una, además de la duración del ciclo y de cada color, se calcula el desfase entre los ciclos semafóricos del semáforo al que corresponde la plantilla y el semáforo nº 1, para poder más adelante sincronizar el control semafórico de la red.

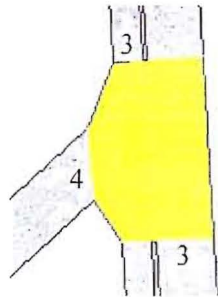
El semáforo número 1 es el que regula la salida del barrio por la calle Molí hacia la calle Laureà Miró - cruce nº 1 -.

Cruces semaforizados

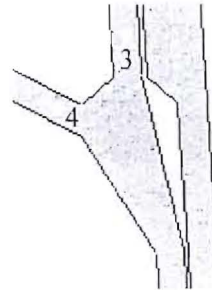
Cruce n° 1



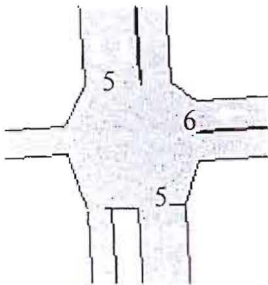
Cruce n° 2



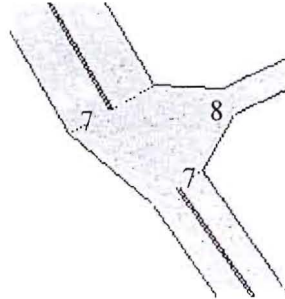
Cruce n° 3



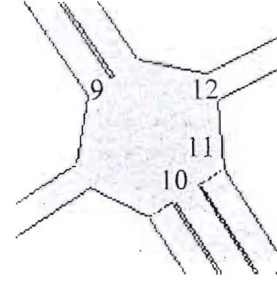
Cruce n° 4



Cruce n° 7



Cruce n° 9



Fórmulas aplicadas

- Tiempo en verde, ámbar y rojo:

$$T_V = \text{hora inicio ámbar} - \text{hora inicio verde}$$

$$T_A = \text{hora inicio rojo} - \text{hora inicio ámbar}$$

$$T_R = \text{hora inicio verde} - \text{hora inicio rojo}$$

- Duración del ciclo semafórico:

$$C = \text{hora inicio verde} - \text{hora inicio verde anterior} = T_V + T_A + T_R$$

- Desfase entre el semáforo \underline{a} y el número 1:

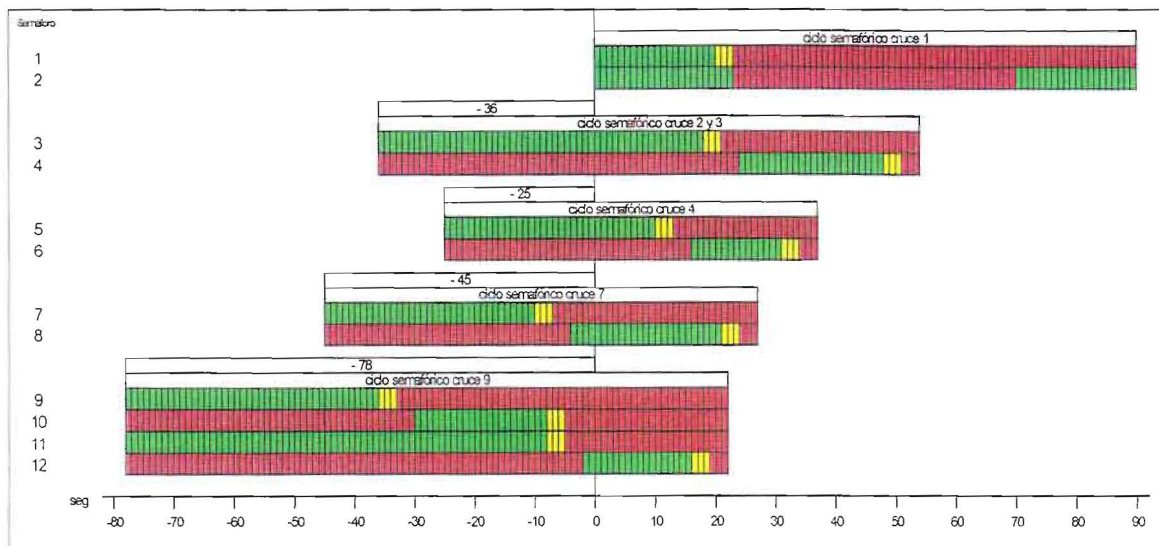
$$\text{Des}(a,1) = [h(a) - h(1)] - c(a) \times R \quad \text{donde } R = [(h(a) - h(1)) \text{ DIV } c(a)] + 1$$

$h(a)$: Hora del inicio del ciclo semafórico del semáforo \underline{a} .

$c(a)$: Duración del ciclo semafórico del semáforo \underline{a} .

Después de recoger y verificar los datos (véase páginas 155 y 156), se procede a representarlos gráficamente de forma que se puedan determinar las fases en las que se divide cada cruce, su duración, los giros permitidos en cada una y los posibles conflictos entre vehículos.

Gráfico de los ciclos semafóricos respecto al del cruce n° 1



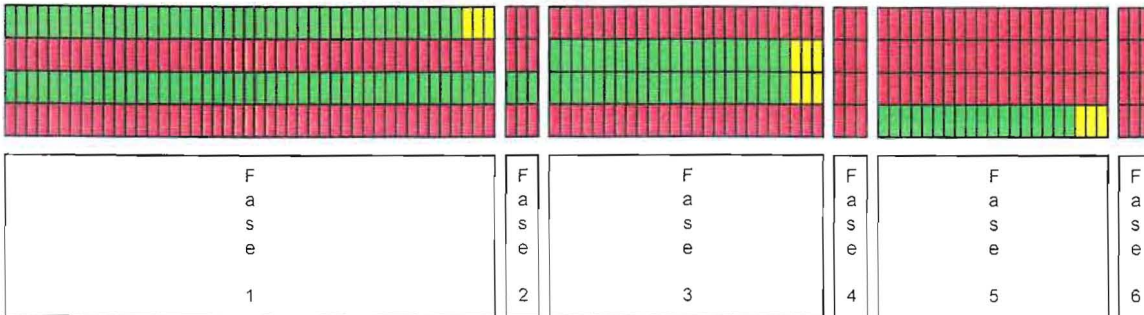
Se considera que empieza un ciclo cuando se pone verde el semáforo que da paso a los vehículos que circulan por la calle Moli.

Cada rectángulo reproduce el ciclo semafórico de un cruce distinto. Éste tiene tantas filas como semáforos diferentes hay en el cruce y tantas columnas como segundos dura el ciclo semafórico que representa.

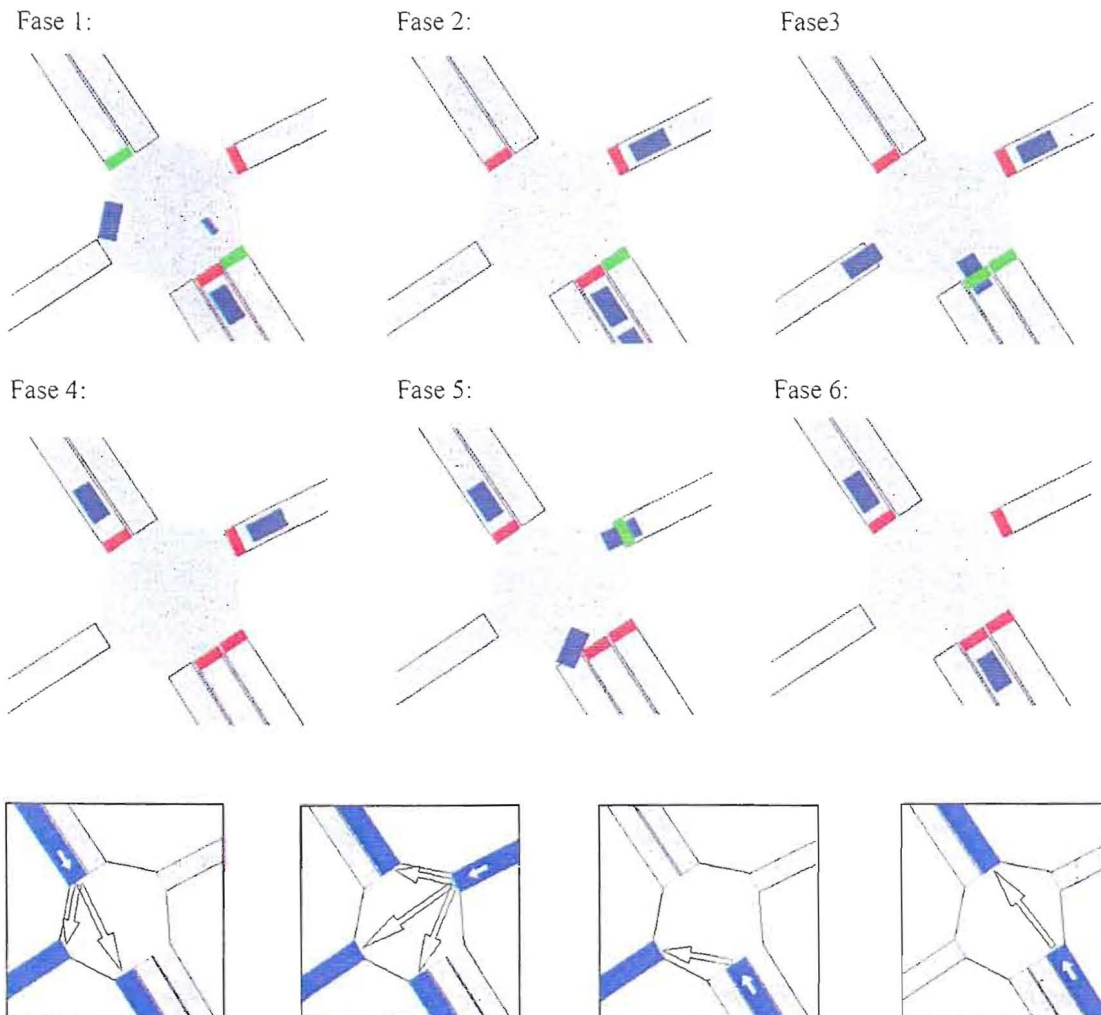
Siempre que cambia de color alguno de los semáforos de un cruce se inicia una nueva fase (no se considera cambio la secuencia verde-ámbar), por lo tanto para determinarlas basta con visualizar el gráfico y contar los segundos que dura.

Ejemplo de definición de fases:

Ciclo semafórico del cruce nº 9 (C. Molí / C. Antoni Gaudí, C. Hortensia)



Representación animada de la secuencia de fases y giros permitidos:



4.1.3 Condiciones de tráfico

La construcción del modelo se completa con la definición de las condiciones de tráfico de la red, es decir, con la reproducción de la circulación. Concretamente falta añadir al modelo parámetros de simulación como los tipos de vehículos que componen el tráfico, los flujos de entrada y las proporciones de giro en las secciones internas de la red. Estos parámetros pueden ser fijos o variables en función del tiempo, lo que dificulta considerablemente su recolección.

Parámetros que requiere el simulador:

- Tipos de vehículos y sus características físicas.
- Flujos en las secciones de entrada a la red para cada modalidad de vehículo.
- Proporciones de giro de cada cruce dependiendo de la sección de procedencia.

Parámetros de comportamiento de vehículos

Para evitar que el modelo sea demasiado complejo se agrupan los diferentes tipos de vehículos que circulan por la red – turismos, camiones, autobuses, furgonetas, motocicletas, ciclomotores, taxis, ambulancias, bicicletas, etc. – en estos tres tipos: **coches**, **motos** y **camiones**. Cada uno de éstos representa un comportamiento distinto, que se caracteriza por los siguientes parámetros:

The image shows three screenshots of a software interface, each displaying a table of vehicle parameters for a specific vehicle type: 'car', 'motorbike', and 'truck'. Each window has a title bar 'Atributos' and a 'Name' field. The tables have columns for 'Parameter', 'Classes', 'Fuel', and 'Pollutants'. The 'Parameter' column lists various physical and behavioral attributes, and the 'Classes' column provides numerical values for Mean, Devia., Min., and Max. The 'Units' column specifies the measurement unit for each parameter.

Parameter	Classes	Fuel	Pollutants	Units	
Name	Mean	Devia.	Min.	Max.	Units
Length	4.00	0.50	3.50	6.00	meter
Width	2.00	0.10	1.80	2.00	meter
Max Desired Speed	60.00	5.00	40.00	70.00	Km/h
Max Acceleration	2.80	0.10	2.20	3.00	m/s
Normal deceleration	4.00	0.50	3.50	4.50	m/s
Max deceleration	8.00	1.00	7.00	10.00	m/s
Speed Acceptance	1.00	0.10	0.80	1.20	
Min Distance Veh	1.00	0.10	0.80	1.50	meter
Give Way time	15.00	5.00	10.00	30.00	sec
Guidance Acceptance	0.00	0.00	0.00	0.00	

Parameter	Classes	Fuel	Pollutants	Units	
Name	Mean	Devia.	Min.	Max.	Units
Length	2.00	0.20	1.50	2.50	meter
Width	0.70	0.10	0.60	1.00	meter
Max Desired Speed	60.00	5.00	40.00	70.00	Km/h
Max Acceleration	3.00	0.20	2.50	3.50	m/s
Normal deceleration	2.50	0.20	2.00	3.00	m/s
Max deceleration	5.00	0.50	4.00	6.00	m/s
Speed Acceptance	1.00	0.20	0.80	1.20	
Min Distance Veh	0.80	0.20	0.60	1.00	meter
Give Way time	10.00	2.00	5.00	15.00	sec.
Guidance Acceptance	0.00	0.00	0.00	0.00	

Parameter	Classes	Fuel	Pollutants	Units	
Name	Mean	Devia.	Min.	Max.	Units
Length	7.00	1.00	6.00	10.00	meter
Width	2.30	0.50	1.90	3.00	meter
Max Desired Speed	50.00	5.00	30.00	60.00	Km/h
Max Acceleration	1.50	0.20	0.80	2.00	m/s
Normal deceleration	3.50	1.00	2.50	4.80	m/s
Max deceleration	7.00	1.00	5.50	8.00	m/s
Speed Acceptance	1.00	0.10	0.80	1.20	
Min Distance Veh	1.50	0.50	1.00	2.50	meter
Give Way time	40.00	10.00	30.00	60.00	sec
Guidance Acceptance	0.00	0.00	0.00	0.00	

- Coches: turismos, taxis, ambulancias y furgonetas pequeñas.
- Motos: motocicletas y ciclomotores.
- Camiones: camiones, autobuses, autocares y furgonetas grandes.

En la recogida de datos se contabilizará como coche, moto o camión todos los vehículos que pertenezcan a su tipo y el resto no se tendrán en cuenta (bicicletas, maquinaria para obras, etc.).

Los diferentes valores de los parámetros representan el comportamiento estándar de cada uno de los tipos definidos y han sido facilitados por LIOS (Laboratorio de Investigación Operativa y Simulación).

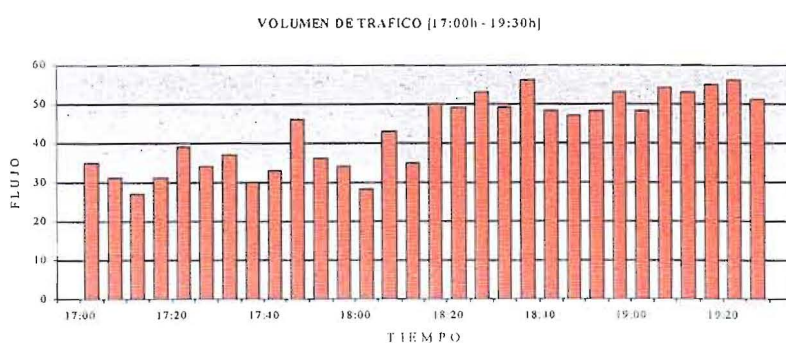
Parámetros de modelización del tráfico

Las características del tráfico a simular vienen determinadas mediante los valores de los flujos de entrada al barrio y las proporciones de giro en cada una de las secciones que lo componen. La descripción de éstos se obtiene a partir de los datos recogidos aplicando la metodología que se explica a continuación.

Como los flujos medios y las proporciones de giro son variables en función de la hora y del día de la semana, determinar un intervalo de tiempo en el que se puedan considerar constantes nos permitirá asegurar que estamos describiendo la misma situación a pesar de recoger los datos en diferentes momentos (hora/día). Para hallar este intervalo se escoge un punto concurrido de la red y, entre las 17 h 00' y las 19 h 30' se contabilizan los vehículos que pasan cada 5 minutos. Se ha elegido este intervalo de tiempo y no otro porque suponemos que no habrá grandes diferencias de flujo, y porque la franja horaria es de bastante interés.

Del análisis de los datos recogidos concluimos que el volumen de tráfico es más estable durante el periodo comprendido entre las 18 h 15' y las 19 h 30'.

Fecha de recogida de datos: Miércoles, 10 FEB en el nº 107 de la c/ Molí (bajada)



Lo ideal hubiera sido realizar esta prueba en más lugares de la red pero por motivos de tiempo solo se ha comprobado en el nº 107 de la c/ Molí. Se ha elegido este punto de la red y no otro porque además de ser representativo es uno de los lugares más concurridos de toda red, y por tanto si la circulación fuera variable se observarían grandes diferencias en el gráfico.

A pesar de solo haberlo demostrado en un punto concreto se asume que desde las 18 h 15' hasta las 19 h 30' el tráfico se mantiene constante en toda la red (un proyecto posible sería demostrar esta afirmación o por el contrario rechazarla).

Recogida de datos (fecha de inicio: 15 de Febrero)

La recogida de datos no se realiza en los días festivos ni en sus vísperas porque durante éstos es obvio que la circulación es diferente de la del resto de los días.

Para evitar que la influencia de variables no controlables perjudiquen la simulación se equilibran sus efectos aleatorizando la recogida de los datos.

La recogida de datos se realizará de lunes a jueves de 18 h 15' a 19 h 30'. En las entradas se contabilizarán los vehículos de cada tipo que acceden al barrio especificando la dirección que toman, y en las secciones internas se recogerán los vehículos que realizan cada giro con el fin de estimar las proporciones de giro. Para ello se utilizarán las plantillas de recogida de datos que se muestran en el anexo (véase págs. 151-153). En las entradas y en los cruces principales se recogerán datos durante media hora, y en el resto diez minutos (véase págs. 157-162).

Se considera que las proporciones de giro de los coches y de las motos son iguales, y diferentes de las de los camiones (debido a sus características físicas y a la modalidad del transporte que representan).

4.2 VERIFICACIÓN DEL MODELO

Previamente a la validación del modelo se tiene que verificar. Esta fase consiste en examinar el programa de computador para determinar si trabaja correctamente, y en comprobar que no se han cometido errores en la codificación del modelo.

El Laboratorio de Investigación Operativa y Simulación se encarga de depurar los errores del simulador, por tanto lo lógico es que no haya errores de programación. De todas maneras para asegurarnos que la versión que estamos utilizando (v3.2) trabaja correctamente se realizan varias ejecuciones de prueba y se observa a través de la animación gráfica que proporciona AIMSUN2 si nuestro modelo se comporta como se supone que se ha de comportar la realidad. Esta técnica nos permitirá detectar afinidades y discrepancias entre el modelo construido y el sistema que se estudia, y nos facilitará comprobar si se respeta la lógica de los procesos que tienen lugar en el sistema.

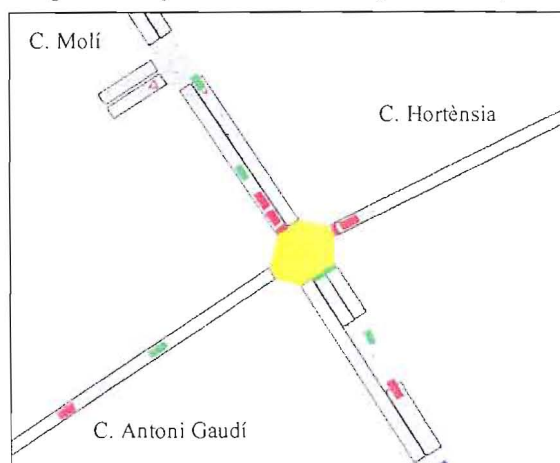
Además de los errores de programación, estas pruebas posibilitan la detección de errores en la construcción del modelo que pasaron inadvertidos anteriormente, como por ejemplo señales y semáforos mal colocados, más o menos carriles de la cuenta, sentidos de circulación equivocados, cruces semaforizados incorrectamente, etc...

Listado de los aspectos relevantes de nuestra simulación a verificar mediante la visualización de la ejecuciones de prueba:

- Que accedan vehículos de los 3 tipos por todas las entradas de la red.
- Que no entren ni salgan ‘camiones’ en los parkings.
- Que en los cruces solo se realicen giros permitidos y se respeten las prioridades de paso.
- Que el comportamiento de los semáforos de cada cruce sea lógico.
- Que los vehículos obedezcan los semáforos.
- Que por todas las calles se circule en el sentido correcto.
- Que los vehículos después de una parada reanuden la marcha.
- Etc.

La formación de colas en lugares donde no se suelen producir indican que probablemente se ha cometido un error. Y lo mismo sucede cuando por alguna sección no circulan vehículos durante la simulación.

Imagen de una parte de la red en una ejecución de prueba



En el ejemplo se observa que los vehículos respetan las prioridades de paso establecidas en la semaforización del cruce nº 9 (el simulador AIMSUN2, entre otras cosas, permite ejecutar el modelo visualizando la intención de giro de los vehículos, por eso en la ilustración se observan diferentes colores).

Estudiando la animación de varias simulaciones de prueba se han detectado los siguientes errores:

- Errores de codificación:

Pasamos por alto el Stop que se encuentra en la calle Eucaliptus para regular el tráfico cuando ésta se cruza con la calle Cedres (cruce nº 31).

En el tramo de la Av. Ciutat de l'Hospitalet comprendido entre los cruces nº 20 y nº 21 se colocó una vía de doble sentido cuando en realidad solo tiene uno.

Fijamos incorrectamente las proporciones de giro de las secciones a las que se puede acceder desde más de una sección, porque por error solo se indicó la proporción de giro para una de las procedencias, y para el resto quedaron las que había por defecto.

- Errores de programación:

Observamos que en las simulaciones había vehículos que después de parar en un stop no volvían a reanudar la marcha.

Después de corregir los errores de codificación de la red y del programa se da por verificado el modelo.

4.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

Una vez se ha comprobado que el simulador está libre de errores y trabaja como es debido, se procede a validar el modelo. Esta etapa de la modelización consiste en demostrar la validez del modelo, es decir, en comprobar que el modelo de simulación es una representación adecuada del sistema que se estudia, capaz de proporcionar respuestas fiables a las preguntas que el analista se formula sobre el sistema.

Para comprobar si el modelo codificado reproduce fielmente el comportamiento del sistema en sus aspectos relevantes hay que comparar los resultados obtenidos en la experimentación con los datos reales. Y solamente si éstos se parecen podremos afirmar que el modelo implementado es un buen modelo.

Básicamente la validación de nuestro modelo consistirá en:

- comparar los flujos y las proporciones de giro recogidas en la red con las obtenidas en el simulador.
- comparar los resultados de una variable resultante del funcionamiento del modelo - tiempo de viaje de una ruta significativa - con los recogidos en la red.

Si alguno de estos aspectos no se ajusta a la realidad se procederá a la calibración del modelo retocando los parámetros que sean necesarios.

4.3.1 Procedimiento

En primer lugar, ejecutando el modelo utilizando semillas aleatorias, se comprueba que por todas las entradas entra el flujo deseado y que lo hace de forma correcta. Si el resultado es negativo se calibrará el modelo haciendo uso de los conocimientos adquiridos sobre calibración en la primera parte del proyecto. Después de las rectificaciones se volverá a ejecutar el modelo y mediante la animación gráfica y las estadísticas se comprobará que se ha logrado nuestro objetivo.

Una vez se ha conseguido que el flujo entre en la red correctamente se procede a comprobar que las proporciones de giro y las velocidades medias en cada sección son como las reales.

Para comprobar que el flujo se distribuye bien por la red se seguirá el mismo procedimiento que anteriormente: se ejecutará el modelo repetidas veces y se compararán las proporciones de giro que disponemos con las obtenidas en la experimentación. Y para comprobar que la velocidad de circulación es la adecuada se mirará el listado de estadísticas del simulador.

Como se distinguen distintos tipos de vehículos se compararán por separado los flujos de entrada y las proporciones de giro de cada uno de ellos. La afluencia de datos comparables nos fuerza a seleccionar algunos para realizar la validación.

Acabado todo esto se realizará una última prueba de validación, que consistirá en comparar el tiempo de viaje real de un recorrido con el que nos proporciona AIMSUN2. Concretamente se definirán dos rutas, una con numerosos semáforos y otra con solamente uno.

Rutas

La primera se inicia en la entrada a la calle Molí desde la calle Laureà Miró (ent. A) y finaliza en el cruce entre la calle Pere Pelegrí y avenida Electricitat (cruce nº 14), y la segunda va desde la avenida Del Torrent (ent. K) hasta el cruce entre la calle Ave María, la Av. Ciutat de l'Hospitalet y el Camí de Can Nyac (cruce nº 20).



4.3.2 Experimentación

Antes de iniciar la validación es conveniente definir las variables a analizar, la duración de los experimentos, el periodo warm-up y el número de réplicas que se van a realizar.

Variables de interés

- FLUJOS DE ENTRADA - Número de vehículos que acceden a la red por hora (veh/h)
- PROPORCIONES DE GIRO - Proporción de vehículos que realiza un determinado giro.
- TIEMPOS DE VIAJE - Tiempo que tarda un vehículo en realizar una ruta (seg).

Para conseguir estimaciones fiables y precisas de las variables mencionadas se realizan réplicas independientes , y se trabaja con la media y su intervalo de confianza.

Duración de los experimentos

1 hora

Si la duración de la simulación es demasiado corta las estimaciones serán poco fiables, ya que no da tiempo a que éstas se estabilicen, y además la variabilidad de las réplicas aumentaría. Por tanto con el objeto de asegurar que no nos ocurra esto se fija la duración de los experimentos en 1 hora.

Warm-up period o tiempo para cargar la red

15 min.

Durante 15 minutos la red que inicialmente está vacía se llena de vehículos para que cuando se inicie la toma de estadísticas, las condiciones de tráfico sean similares a las observadas cuando se empezaron a recoger los datos. Se toma este tiempo porque en 15 minutos hay tiempo más que suficiente para recorrer toda la red .

Número de réplicas

10 réplicas

Se realiza la cantidad de 10 replicaciones para compensar los efectos de la aleatorización en la experimentación y para reducir de manera considerable los intervalos de confianza que se calcularán para validar el modelo.

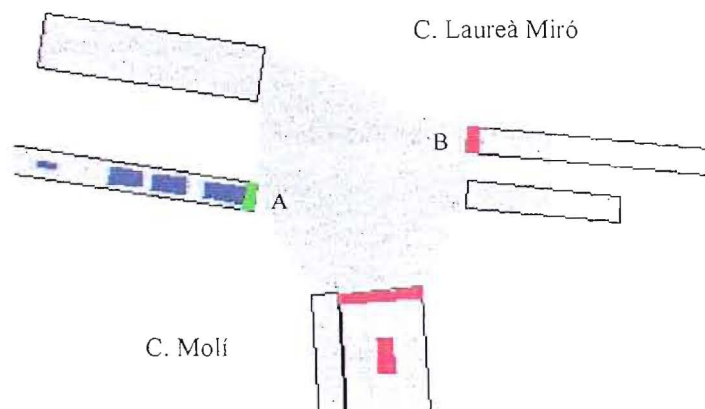
4.3.3 Calibración

Observación 1ª

Generalmente, la ley exponencial es suficiente para describir la entrada de los vehículos, pero en ocasiones cuando el sistema lo requiere es necesario colocar elementos de infraestructura que gestionen la entrada tal y como es en la realidad.

En la simulación se observa que por la calle Laureà Miró los vehículos entran muy espaciados en el tiempo y que en los semáforos que regulan la calle Molí no se acumulan vehículos. En cambio, en el sistema real los vehículos entran agrupados y de forma intermitente, lo que provoca que a menudo se formen colas esperando que los semáforos se pongan en verde.

Solución: Los vehículos que proceden de la calle Laureà Miró entran a Can Vidalet cuando los semáforos que regulan el tráfico del cruce que une ésta con la calle Molí les permiten el paso, por lo tanto simularemos también este cruce (aún no siendo del barrio).



Datos sobre el plan de control:

A – verde (38s), ámbar (3s), rojo (49s), desfase (-64 s).

B – verde (14s), ámbar (3s), rojo (73s), desfase (-20 s).

Proporciones de giro:

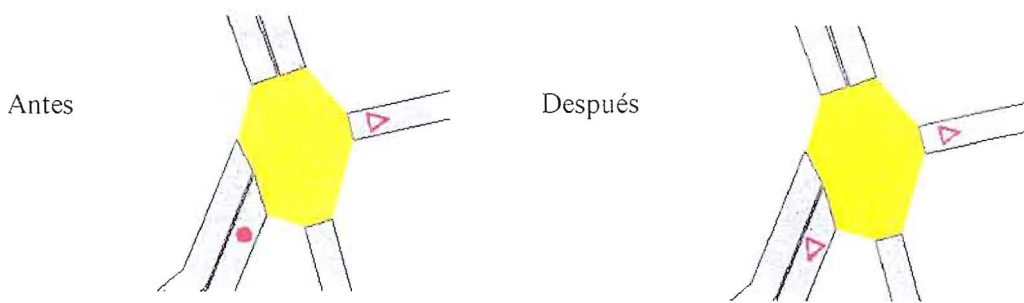
Todos los vehículos que introducimos por la c. Laureà Miró girarán a la c. Molí.

Observación 2ª

En la simulación se observa que el flujo que entra por el Camí de Can Nyac provoca una cola interminable y en la realidad el tráfico es fluido a pesar del elevado flujo.

Solución: Reducir el tiempo medio que requieren los vehículos en acceder a la siguiente sección.

Este acceso está regulado por un STOP, por lo tanto el simulador obliga a parar a todos los vehículos cuando en la realidad no todos lo hacen. Una posible solución sería reducir el tiempo de espera ante esta señal, cambiándola por un ceda el paso.



Esta acción disminuye considerablemente la cola pero se sigue observando que los vehículos tardan mucho en acceder a la nueva sección y que no entran los vehículos que se pretende que entren. Para solucionar este problema se ha aumentado la velocidad máxima de los dos giros posibles desde esta sección.

Observación 3ª

El simulador reproduce las proporciones giro como se esperaba pero se observa que en la salida que va a la calle Laureà Miró se acumulan en el carril izquierdo muchos de los vehículos que quieren girar a la derecha, cuando en la realidad no es así, ya que en la secciones anteriores ya están colocados debidamente . Esto sucede porque el simulador no decide el giro de los vehículos hasta que no está dentro de la sección.

Solución: Modificar las proporciones de giro de esta salida para conseguir que la circulación sea como se observa en el sistema real.

Finalmente, las proporciones de giro elegidas son:

- coches y motos: 65% a la izquierda y 35% a la derecha.
- camiones: 75% a la izquierda y 25 % a la derecha.

Observación 4ª

En la simulación, en las secciones donde la velocidad máxima es la genérica, es decir 50 km/h, se tiende a circular mucho más rápido que en la realidad.

Solución: Reducir la velocidad media de circulación modificando la velocidad de cada una de las secciones en función de las características de la vía y de su entorno (vehículos parados en doble fila, peatones con intención de cruzar, ...).

Sabemos que para modificar la velocidad media ¹ de los vehículos se puede actuar directamente sobre los parámetros siguientes: velocidad máxima de la vía, velocidad deseada del vehículo y nivel de aceptación de la velocidad máxima.

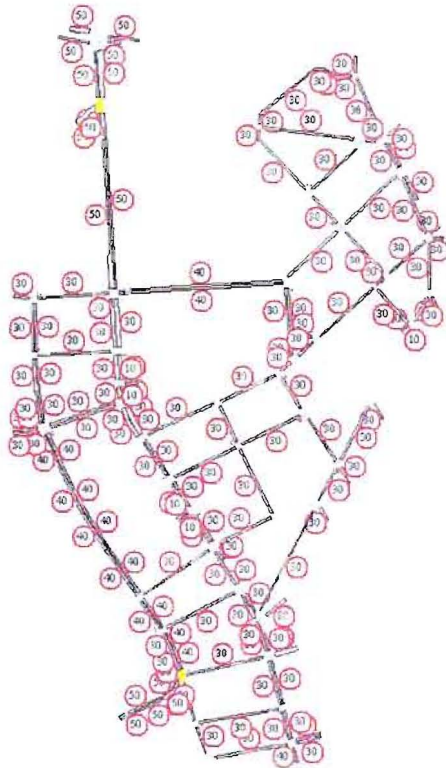
Recordemos:	coches	motocicletas	camiones
V_d	N(60,5)	N(60,5)	N(50,5)
θ	N(1,0.1)	N(1,0.2)	N(1,0.1)

Como en el modelo la velocidad deseada y el nivel de aceptación se han definido como variables aleatorias es difícil controlar sus efectos en la simulación, por tanto lo más recomendable será actuar sobre la velocidad máxima de la sección.

¹ Recordemos que la velocidad de los vehículos viene dada por el MIN [v_{max} de la sección $\times \theta$, v_d] .

Criterio seguido para determinar la velocidad máxima de las secciones

En una red como la nuestra los vehículos no pueden desarrollar la velocidad máxima permitida, porque se dan muchas circunstancias que lo impiden. Normalmente, éstos suelen encontrarse con vehículos parados en doble fila, peatones cruzando a destiempo, y estrechamientos en la calzada que les obligan a ir más despacio, por lo que creemos conveniente cambiar la velocidad máxima real por otras más restrictivas.



Disminuyendo la velocidad máxima de las secciones, la velocidad deseada deja de tener un papel fundamental en la generación de las velocidades, ya que casi siempre será superior al producto de la V_{max} y θ . Por tanto, como θ sigue una normal centrada en el 1, siempre que las condiciones de tráfico lo permitan, los vehículos circularán a la velocidad máxima permitida.

$$E[V \text{ de circulación en la sección } i] \approx V_{max. \text{ de la sección}} \times E[\theta] = V_{max. \text{ de la sección}}$$

A 50 km/h solo se puede circular al inicio de la calle Molí y en el Camí de Can Nyac (vía amplia y poca afluencia peatonal); a 40 Km/h en la calle Cedres y la Av. Ciutat de l'Hospitalet; y en el resto, exceptuando los parkings donde se va a menos de 10 Km/h, se circula aproximadamente a unos 30 km/h.

4.3.4 Comparación entre los datos recogidos y los simulados

Después de corregir las principales discrepancias entre el sistema real y el modelo de simulación se procede a la validación de este último. Para ello, como se ha comentado anteriormente, se compararán los flujos, las proporciones de giro y los tiempos de viaje recogidos con los que nos proporciona el simulador en la experimentación.

FLUJOS DE ENTRADA

Se compara el flujo de todas las entradas diferenciando el tipo de vehículo.

Entradas	Flujo	Resultados obtenidos en la experimentación											Media	Stdev
		7904	1028	4525	391	6839	2603	4096	7180	5627	8652			
COCHES	A	336	317	348	334	325	343	324	354	330	339	342	335.6	11.7
	B	464	463	439	454	438	501	461	477	482	479	458	465.2	19.8
	C	132	128	129	127	123	107	134	121	135	113	123	124.0	8.8
	D	60	57	56	64	65	70	63	62	63	41	59	60.0	7.8
	E	564	573	546	604	570	561	585	561	598	591	596	576.5	19.2
	F	120	97	125	133	126	121	130	122	120	143	115	123.2	12.1
	G	264	275	272	252	275	281	287	250	257	280	258	266.7	13.3
	H	98	88	95	92	98	93	93	122	96	90	98	96.5	9.5
	I	186	178	183	177	169	172	170	203	188	187	173	180.0	10.5
	J	62	74	60	71	54	53	58	76	63	68	56	63.3	8.4
	K	424	424	389	453	405	434	447	424	423	443	433	427.5	19.4
	P1	40	44	43	41	51	38	28	51	44	38	36	41.4	6.9
	P2	30	39	29	27	29	35	45	31	24	23	28	31.0	6.8
P3	10	7	13	10	7	8	7	4	11	9	7	8.3	2.5	
MOTOCICLETAS	A	30	29	24	40	31	28	36	28	30	35	34	31.5	4.7
	B	12	11	11	14	9	11	14	8	10	13	13	11.4	2.1
	C	6	6	6	7	8	5	11	2	7	10	10	7.2	2.7
	D	8	6	7	11	7	7	6	9	8	12	9	8.2	2.0
	E	38	31	48	28	33	36	27	34	32	48	35	35.2	7.3
	F	6	7	9	7	10	3	5	6	5	2	6	6.0	2.4
	G	16	20	23	15	20	13	24	17	15	17	10	17.4	4.4
	H	10	11	8	14	10	13	6	10	10	9	5	9.6	2.8
	I	12	10	17	19	9	17	10	13	11	10	14	13.0	3.6
	J	14	10	17	12	6	14	21	15	12	14	15	13.6	4.0
	K	42	35	39	49	39	49	39	43	50	47	39	42.9	5.4
	P1	4	3	7	4	2	3	6	5	4	6	2	4.2	1.8
	P2	4	5	2	2	3	10	7	1	3	3	3	3.9	2.7
P3	2	2	3	5	3	3	1	2	3	2	2	2.6	1.1	
CAMIONES	A	6	5	2	6	4	6	9	5	7	4	5	5.3	1.9
	B	20	21	16	16	23	19	18	21	14	15	17	17.6	3.0
	C	6	5	10	6	8	6	9	3	2	6	2	5.7	2.8
	D	2	2	1	2	2	4	2	1	2	1	1	1.8	0.9
	E	8	2	8	8	5	9	8	10	7	9	9	7.5	2.4
	F	2	2	0	2	0	4	3	4	3	1	1	2.0	1.5
	G	4	4	0	2	2	3	5	5	3	3	11	3.8	2.9
	H	2	2	4	5	1	3	3	4	3	3	0	2.8	1.5
	I	4	3	4	3	0	6	3	6	4	5	4	3.8	1.8
	J	2	2	1	1	2	1	3	3	3	2	2	2.0	0.8
	K	12	12	13	9	5	13	12	15	10	13	13	11.5	2.8

Las diferencias entre los datos recogidos y simulados se representan gráficamente en la página 164 del anexo

Prueba de significación: $H_0: \mu = \mu_0$ “ la media obtenida es como la esperada ”
 $H_1: \mu \neq \mu_0$

Estadísticamente, rechazaremos H_0 cuando $|t_0| > t_{\alpha/2, n-1}$, donde $t_0 = \frac{\bar{y} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ y $\alpha = 0.05$.

$t_{0.025, 9} = 2.262$

	Entradas	t	$\mu = \mu_0$	I.C (95%)	
COCHES	A	-0.1084	Sí	327.2	344.0
	B	0.1919	Sí	451.1	479.3
	C	-2.8851	No	117.7	130.3
	D	0.0000	Sí	54.4	65.6
	E	2.3922	No	564.8	592.2
	F	0.8370	Sí	114.6	131.8
	G	1.1203	Sí	259.2	278.2
	H	-0.4980	Sí	89.7	103.3
	I	-1.8018	Sí	172.5	187.5
	J	0.4867	Sí	57.3	69.3
	K	0.5714	Sí	413.6	441.4
	P1	0.6387	Sí	36.4	46.4
	P2	0.4618	Sí	26.1	35.9
P3	-2.1158	Sí	6.5	10.1	
MOTOCICLETAS	A	1.0050	Sí	28.1	34.9
	B	-0.9186	Sí	9.9	12.9
	C	1.4056	Sí	5.3	9.1
	D	0.3094	Sí	6.7	9.7
	E	-1.2104	Sí	30	40.4
	F	0.0000	Sí	4.2	7.8
	G	1.0057	Sí	143	20.5
	H	-0.4523	Sí	7.6	11.6
	I	0.8808	Sí	10.4	15.6
	J	-0.3136	Sí	10.7	16.5
	K	0.5246	Sí	39	46.8
	P1	0.3612	Sí	2.9	5.5
	P2	-0.1160	Sí	1.9	5.9
P3	1.7650	Sí	1.8	3.4	
CAMIONES	A	-0.1721	Sí	3.9	6.7
	B	-2.3105	No	15.6	20
	C	-0.3399	Sí	3.7	7.7
	D	-0.6882	Sí	1.1	2.5
	E	-0.6675	Sí	5.8	9.2
	F	0.0000	Sí	0.9	3.1
	G	-0.2154	Sí	1.7	5.9
	H	1.7143	Sí	1.7	3.9
	I	-0.3612	Sí	2.5	5.1
	J	0.0000	Sí	1.4	2.6
	K	-0.5571	Sí	9.5	13.5

En la mayoría de los contrastes se obtiene que el simulador genera los vehículos esperados.

Solamente, rechazamos H_0 cuando contrastamos los coches recogidos y simulados en la entrada de la Ronda (C) y del Camí de Can Nyac (E).

La entrada de las motocicletas es como se desea y la de los camiones también, excepto en una de

las entradas de la Ronda (B).

Entrada C – Tipo ‘coches’

La media es inferior a la deseada porque en dos de las réplicas han entrado menos coches de los que se esperaban (107, 113).

En la animación gráfica no se observa nada que pueda justificar la entrada de tan pocos coches, por lo tanto achacaremos estos resultados a la particularidad de las semillas.

Sustituyendo las dos réplicas anómalas por dos nuevas (seed 5078, 8326 → 128, 144 coches) se obtiene el siguiente resultado:

$$|-1.2832| < 2.262 \text{ Aceptamos } H_0$$

Entrada E – Tipo ‘coches’

AIMSUN2 ha generado más coches de los que se esperaban, ya que el intervalo construido con los datos simulados deja a su izquierda el valor real.

En esta entrada (Camí de Can Nyac) a veces se forman colas que impiden que la circulación no sea fluida, lo que explicaría que entraran menos vehículos de la cuenta, y no más como se observa en las réplicas. Como no es lógico, realizamos más experimentos para confirmar que realmente la diferencia es significativa.

(Seed 6221, 1814, 4289, 7656, 9533 → 528, 548, 561, 571, 555), $|-1.0530| < 2.262$ Acep. H_0

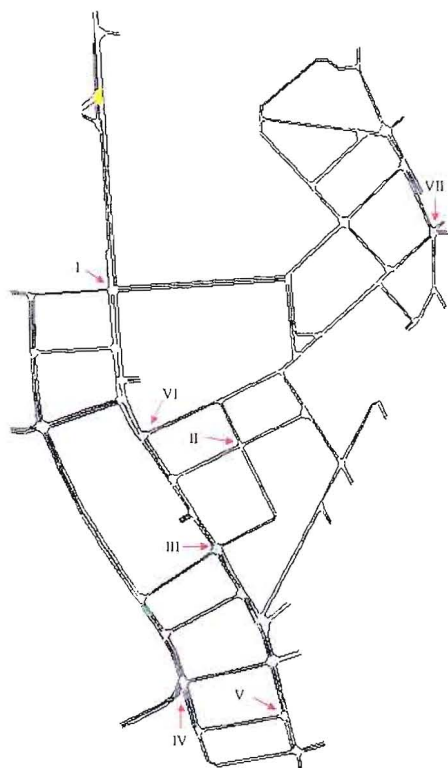
Entrada B – Tipo ‘camiones’

La diferencia es significativa por poco (entran un promedio de ≈ 18 cam./h, cuando en la realidad se contabilizaron 20). De todas maneras, aumentaremos el número de réplicas para confirmar o desmentir que existe tal diferencia.

(Seed 3543, 7648, 0564, 6221, 8323 → 19, 24, 15, 20, 22), $|-1.8131| < 2.262$ Acep. H_0

PROPORCIONES DE GIRO

Para validar las proporciones de giro y los flujos de las secciones internas se eligen 7 puntos de la red representativos y se comparan los datos reales que disponemos con los simulados. Los puntos seleccionados son los siguientes:



- I. C. Molí ↓. Cruce nº 4.
- II. C. Pubilla Cases. Cruce nº 39.
- III. C. Molí ↓. Cruce nº 9.
- IV. Camí de Can Nyac. Cruce nº 20.
- V. C. Ricart Güell. Cruce nº 13.
- VI. C. Verge de la Mercè. Cruce nº 7.
- VII. Av. Del Torrent. Cruce nº 26.

Recordemos que las proporciones de giro reales de los ‘coches’ y de las ‘motos’ se consideraron iguales (para simplificar el modelo), y que en la recogida de datos solamente se diferenciaron los camiones del resto de los vehículos.

Los datos reales y los resultados de la experimentación sobre el flujo y las proporciones de giro en los 7 puntos son los siguientes:

Sección	Giro	Coches + Motos	Flujos obtenidos en la experimentación											
			7904	1028	4525	391	6839	2603	4096	7180	5627	8652	Media	Stdev
I	↙ ↓ ↘	518	482	517	505	485	485	500	501	502	496	511	488.4	11.57
		52	39	57	61	48	51	58	49	49	53	44	50.9	6.66
		374	363	357	351	350	364	343	361	369	355	379	359.2	10.36
		92	80	103	93	87	70	99	91	84	88	88	88.3	9.33
II	↘ →	82	97	91	99	75	97	88	88	88	87	86	89.8	7.00
		28	38	28	30	33	30	34	37	32	30	31	32.3	3.23
		54	59	63	69	42	67	54	51	56	57	55	57.3	7.87
III	↙ ↓	360	374	379	389	358	355	367	398	388	383	402	379.3	15.89
		108	108	105	109	96	113	124	120	124	110	128	113.7	10.08
		252	266	274	280	262	242	278	264	273	274	274	265.6	13.50
IV	↗ ↘	592	602	601	633	609	595	614	601	633	634	632	615.4	15.97
		218	219	242	215	211	213	220	218	242	218	240	223.8	12.42
		374	383	359	418	398	382	394	383	391	416	382	391.6	17.13
V	↗ ↘	490	502	464	529	509	490	501	497	518	519	462	499.1	22.24
		176	201	187	190	187	201	185	198	212	186	167	191.4	12.29
		314	301	277	339	322	289	316	299	306	333	295	307.7	19.64
VI	↖ ↘	338	354	350	382	320	325	333	396	363	367	357	354.7	24.17
		210	223	209	225	199	198	213	232	226	221	208	215.4	11.75
		128	131	141	157	121	127	120	164	137	146	149	139.3	14.90
VII	↙ ↓ ↘	422	386	362	435	396	402	385	407	405	401	396	397.5	18.87
		98	85	89	93	79	97	82	99	89	93	93	89.9	6.40
		286	264	237	295	269	266	278	266	277	272	257	268.1	15.03
		38	37	36	47	48	39	25	42	38	36	46	39.5	6.82

Las diferencias entre los datos recogidos y simulados se representan gráficamente en la página 165 del anexo

Sección	Giro	Coches + Motos	Proporciones obtenidas en la experimentación											
			7904	1028	4525	391	6839	2603	4096	7180	5627	8652	Media	Stdev
I	↙ ↓ ↘	0.10	0.08	0.11	0.12	0.10	0.11	0.12	0.10	0.10	0.11	0.09	0.10	0.012
		0.72	0.75	0.69	0.70	0.72	0.75	0.69	0.72	0.74	0.72	0.74	0.72	0.024
		0.18	0.17	0.20	0.18	0.18	0.14	0.20	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.016
II	↘ →	0.34	0.39	0.31	0.30	0.44	0.31	0.39	0.42	0.36	0.34	0.36	0.36	0.048
		0.66	0.61	0.69	0.70	0.56	0.69	0.61	0.58	0.64	0.66	0.64	0.64	
III	↙ ↓	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.32	0.34	0.30	0.32	0.29	0.32	0.30	0.023
		0.70	0.71	0.72	0.72	0.73	0.68	0.66	0.70	0.68	0.71	0.68	0.70	
IV	↗ ↘	0.37	0.36	0.40	0.34	0.35	0.36	0.36	0.36	0.38	0.34	0.38	0.36	0.020
		0.63	0.64	0.60	0.66	0.65	0.64	0.64	0.64	0.62	0.66	0.62	0.64	
V	↗ ↘	0.36	0.40	0.40	0.36	0.37	0.41	0.37	0.40	0.41	0.36	0.36	0.36	0.022
		0.64	0.60	0.60	0.64	0.63	0.59	0.63	0.60	0.59	0.64	0.64	0.62	
VI	↖ ↘	0.62	0.63	0.60	0.59	0.62	0.61	0.64	0.59	0.62	0.60	0.58	0.61	0.020
		0.38	0.37	0.40	0.41	0.38	0.39	0.36	0.41	0.38	0.40	0.42	0.39	
VII	↙ ↓ ↘	0.23	0.22	0.25	0.21	0.20	0.24	0.21	0.24	0.22	0.23	0.23	0.23	0.015
		0.68	0.68	0.65	0.68	0.68	0.66	0.72	0.65	0.68	0.68	0.65	0.67	0.021
		0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.10	0.08	0.10	0.10	0.09	0.12	0.10	0.015

Las proporciones de giro, a simple vista, son muy parecidas a las reales, pero de todas maneras calcularemos los intervalos de confianza de cada una para confirmar que son iguales.

Con un nivel de confianza del 95% se obtiene que todas las proporciones de giro simuladas son como las reales excepto las de la calle Ricart Güell. En ésta giran hacia la izquierda el 38.37% cuando la proporción que nosotros recogimos fue del 36%.

	Sección	t	$\mu = \mu_0$	I.C (95%)	
PROPORCIONES DE GIRO	I	0.52	Sí	0.09	0.11
		0.13	Sí	0.70	0.74
	II	-0.60	Sí	0.17	0.19
		1.51	Sí	0.33	0.40
	III	-1.51	Sí	0.60	0.67
		-0.04	Sí	0.28	0.32
	IV	0.04	Sí	0.66	0.72
		-1.01	Sí	0.35	0.38
	V	1.01	Sí	0.62	0.65
		3.38	No	0.37	0.40
	VI	-3.38	No	0.60	0.63
		-1.91	Sí	0.59	0.62
	VII	1.91	Sí	0.38	0.41
		-0.75	Sí	0.22	0.24
	-0.82	Sí	0.66	0.69	
	1.88	Sí	0.09	0.11	

Esta variación se debe a que por equivocación, en la calle Ricart Güell se estableció la proporción de giro en función de la procedencia:

Procedencia	↗	↘
Av. Ciutat de l'Hospitalet ↙	0.36	0.64
Av. Ciutat de l'Hospitalet ↘	0.95	0.05

Las proporciones simuladas son tan parecidas a las de la procedencia (↙) porque la gran mayoría del flujo que accede a esta calle procede por dicha sección.

Aunque las proporciones de giro sean correctas, si los flujos que llegan a estos cruces no son los mismos que en la realidad el modelo no reproducirá correctamente las condiciones de tráfico. Para comprobar que lo son se realizan la prueba de significación utilizada anteriormente en la comparación de los flujos de entrada.

	Sección	t	$\mu = \mu_0$	I.C (95%)	
FLUJO	I	-5.358	No	490.1	506.7
	II	3.436	No	84.6	94.6
	III	3.641	No	367.9	390.7
	IV	4.634	No	604.0	626.8
	V	1.294	Sí	483.2	515.0
	VI	2.185	Sí	337.4	372.0
	VII	-4.149	No	384.1	410.9

Estadísticamente, con un nivel de confianza del 95% no se puede considerar que los flujos simulados sean como los reales, excepto en los puntos V y VI (donde $|t_0| < t_{\alpha/2, n-1} = 2.262$), pero como las diferencias que se observan no parece que puedan afectar demasiado en los resultados de la simulación los daremos por buenos.

TIEMPOS DE VIAJE

Procedimiento seguido para recoger los tiempos de viaje reales:

Los tiempos de viaje se recogen recorriendo cada ruta 10 veces, en distintos días y a la hora que se recogieron los datos reales iniciales, con el fin de reproducir las mismas condiciones que se están simulando. En cada uno se anotan las incidencias para complementar la información.

Nº de viaje	Fecha	Ruta 1		
		H. Inicio	H. Final	Tiempo
8	M, 9-3-99	18h 51m 34s	18h 53m 49s	2 m 15 s
9	Mi, 10-3-99	18h 16m 02s	18h 18m 19s	2 m 17 s
10	Mi, 10-3-99	18h 41m 44s	18h 44m 10s	2 m 26 s
6	L, 8-3-99	18h 48m 53s	18h 51m 42s	2 m 49 s
4	J, 4-3-99	19h 11m 29s	19h 14m 23s	2 m 54 s
7	M, 9-3-99	18h 22m 57s	18h 25m 55s	2 m 58 s
5	L, 8-3-99	18h 34m 28s	18h 37m 26s	2 m 58 s
1	L, 1-3-99	19h 17m 02s	19h 20m 03s	3 m 01 s
2	M, 2-3-99	18h 53m 18s	18h 56m 29s	3 m 11 s
3 *	X, 3-3-99	18h 25m 45s	18h 29m 15s	3 m 30 s

Nº de viaje	Fecha	Ruta 2		
		H. Inicio	H. Final	Tiempo
3	X, 3-3-99	18h 39m 35s	18h 42m 15s	2 m 40 s
9	Mi, 10-3-99	19h 00m 01s	19h 02m 43s	2 m 42 s
7	L, 1-3-99	19h 11m 10s	19h 14m 05s	2 m 55 s
10	Mi, 10-3-99	18h 30m 20s	18h 33m 16s	2 m 56 s
4	X, 3-3-99	19h 01m 02s	19h 04m 03s	3 m 01 s
8	M, 9-3-99	18h 36m 34s	18h 39m 43s	3 m 09 s
1	L, 1-3-99	19h 06m 56s	19h 10m 07s	3 m 11 s
6	J, 4-3-99	18h 44m 46s	18h 48m 05s	3 m 19 s
2	M, 2-3-99	18h 44m 03s	18h 47m 31s	3 m 28 s
5 *	J, 4-3-99	18h 16m 44s	18h 20m 25s	3 m 41 s

En el cálculo del tiempo de viaje real de la primera ruta se ha tenido en cuenta si se ha iniciado el recorrido por un sentido u otro de la calle Laureá Miró, porque se ha observado que dependiendo de la procedencia se obtiene un tiempo u otro (debido a la sincronización de los semáforos).

Como por un sentido acceden el doble de vehículos (A) que por el otro (B) se han realizado 6 y 3 viajes respectivamente para ponderar el tiempo de viaje medio y poder comparar este tiempo con el que nos proporciona el simulador.

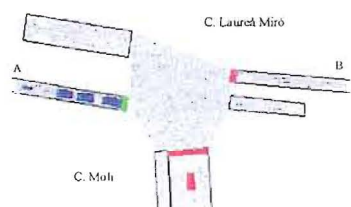


Ilustración de la entrada a la ruta 1

Incidencias

En casi todos los viajes han habido pequeñas incidencias pero como no se ha perdido demasiado tiempo las hemos pasado por alto (peatones cruzando, coches aparcando,...). A continuación sólo citaremos aquellas que han provocado un aumento considerable del tiempo de viaje – marcadas con un asterisco – :

- 3*) Un coche parado en la intersección entre dos secciones (zona amarilla) obstruye el paso.
Un anciano minusválido cruza la calle excesivamente lento.
- 5*) Se ha formado cola provocada por un camión que está descargando. Para adelantarlo hay que esperar que esté libre el sentido contrario, ya que es necesario invadirlo.

Los experimentos donde se han producido estas incidencias no se han tenido en cuenta para calcular el tiempo de viaje medio real de cada ruta.

Tiempo medio de viaje de las rutas en el sistema real

- Ruta 1:

Procedencia	Media	Desviación
A	2 m 58 s	7.3 s
B	2 m 19 s	5.9 s
A y B	2 m 45 s	6.8 s

- Ruta 2:

Procedencia	Media	Desviación
-	3 m 02 s	16.1 s

Expuestos los resultados obtenidos en el sistema real se procede a experimentar con el modelo para calcular los tiempos de viaje medios simulados.

Tiempo medio de viaje de las rutas en AIMSUN2

A partir de los resultados de las réplicas (véase pág. 167 del anexo) se calculan los valores medios que se muestran en la tabla:

Ruta	# Vehículos	Tiempo de viaje	Velocidad media	Tiempo parado	# Paradas/veh.
1	592	2 m 47 s	26.5 km/h	47 s	3
2	25	2 m 58 s	28.9 km/h	25 s	2

Estos resultados son tan parecidos a los obtenidos en el sistema real (2m 45s, 3m 02s) que parece obvio que son iguales, por tanto si la prueba de significación no indica lo contrario afirmaremos que el tiempo que se tarda en recorrer estas rutas en el modelo es el mismo que en la realidad.

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ " la media real es como la simulada "}$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Rechazaremos la hipótesis nula cuando $|t_0| > t_{\alpha/2, n-1}$, donde $y \quad t_0 = \frac{\bar{y}_{\text{datos reales}} - \mu_0}{\frac{s_{\text{datos reales}}}{\sqrt{n}}} \quad \alpha = 0.05.$

Con el nivel de confianza del 95 % aceptamos que los tiempos de viaje de las dos rutas son como los reales porque $|t_{0 \text{ Ruta 1}}| = 0.882 < t_{0.025, 8} = 2.306$, y $|t_{0 \text{ Ruta 2}}| = 0.745 < t_{0.025, 8} = 2.306.$

4.3.5 Conclusión

Una vez se ha comprobado que los flujos de entrada, las proporciones de giro y los tiempos de viaje simulados pueden considerarse iguales que los reales estamos en condiciones de concluir que el modelo construido es válido, puesto que reproduce tanto físicamente como funcionalmente el sistema real.

4.4 LISTADO DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

El cliente, a través de la experimentación con el modelo, recogerá sólo las estadísticas necesarias para estudiar los aspectos relevantes de su sistema. Nosotros, como no tenemos un propósito definido, describiremos el comportamiento global de la red a partir de las estadísticas más representativas sobre el flujo, la densidad, la velocidad, etc...

Recordemos que los datos siguientes (media de las 10 réplicas, véase pág. 168 del anexo) son los obtenidos reproduciendo las condiciones de tráfico que se dan en Can Vidalet de lunes a jueves de 18 h 15 m a 19 h 30 m.

	Flujo Medio (veh/h)	Densidad (veh/km)	Velocidad Media (km/h)	Tiempo de viaje (mm:ss)	Tiempo de demora (mm:ss)	Tiempo de parada (mm:ss)	Paradas (# / veh)	Recorrido (km)
SISTEMA	3078	13.15	18.1	4:30	2:45	2:23	5.3	1873.8
Coches	2806	12.00	18.0	4:33	2:49	2:26	5.4	1702.9
Motocicletas	207	0.89	20.0	3:37	1:47	1:24	3.5	136.0
Camiones	65	0.26	15.9	5:32	3:49	3:16	5.6	34.9

En una hora han circulado por la red un total de 3078 vehículos, de los cuales el 91.2% eran 'coches', el 6.7 % 'motocicletas' y el 2.1% 'camiones'. La velocidad de circulación media ha sido de 18.1 km/h, y la densidad por kilómetro de la red de 13.15 vehículos.

Circulando por esta red se tarda en recorrer un kilómetro 4 min 30 seg, cuando teóricamente bajo condiciones ideales de tráfico se tardaría solamente 1 min 45 seg (tiempo de viaje - tiempo de demora). El tiempo que permanece parado un vehículo por kilómetro recorrido es de 2 min 23 seg y el número de paradas medio que tiene que realizar es 5.3.

Las 'motocicletas' circulan algo más rápido que los 'coches' y bastante más que los 'camiones', y debido a sus características, tardan menos que el resto de los vehículos en recorrer un kilómetro, casi un minuto menos que los 'coches', y casi dos que los 'camiones'.

El recorrido medio que realizan los vehículos por la red es de 608.77 m. (recorrido/flujo medio).

4.5 APLICACIONES

La utilización de modelos de simulación ayuda a los analistas o, en nuestro caso, ingenieros de tráfico a tomar decisiones, y permite:

- Estudiar los puntos más conflictivos de la red y buscar posibles soluciones.
- Evaluar las consecuencias que comportaría un incremento del flujo en la red.
- Redistribuir el tráfico cuando se tuviera que cortar alguna calle.
- Probar posibles alternativas a la política que actualmente gestiona la semaforización.

en definitiva, optimizar los recursos que se disponen para lograr el buen funcionamiento de la red de tráfico

Caso práctico

Una posible mejora en nuestra red sería poner un semáforo que facilitara el acceso al barrio por el Camí de Can Nyac. Actualmente, a determinadas horas del día, los vehículos se acumulan porque tienen que parar para ceder el paso a todo el que se acerca por otras secciones, lo que provoca que la circulación no sea tan fluida como se desearía.

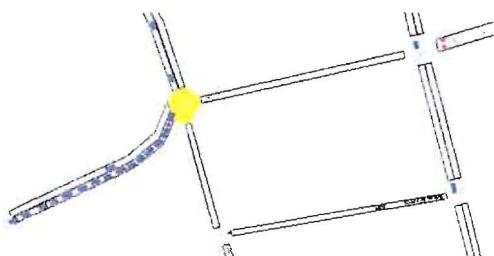


Imagen de la zona durante una de las replicaciones

Con el simulador se podría evaluar el efecto de la semaforización, calculando la longitud de las colas y el tiempo de espera de los vehículos antes y después de la modificación. Probablemente, en el intervalo de tiempo que se simula, incorporar un semáforo sería una buena solución, pero quedaría comprobar que en otro momento del día, cuando el flujo fuera mucho menor, mejora también la circulación (sería incongruente que los vehículos tuvieran que parar cuando no viene ninguno por las otras secciones).

CAPÍTULO 5

Ampliación del proyecto

5. AMPLIACIÓN DEL PROYECTO

Entre las posibles ampliaciones de este proyecto creemos que las más interesantes serían:

- Analizar el comportamiento de otros modelos interurbanos que sean también de interés. Como por ejemplo el acceso o la salida de una autopista.
- Añadir réplicas a la recogida de datos para tener medidas sobre la variabilidad, utilizando si es posible detectores.
- Analizar los puntos conflictivos de la red de Can Vidalet, y aplicar posibles mejoras.
- Probar como soportaría la red de Can Vidalet modificaciones en los flujos de entrada, o de otros parámetros.
- Simular la red de tráfico de Can Vidalet, incrementando el nivel de detalle.
- Simular la red de tráfico de Can Vidalet, en otras franjas horarias.
- Simular la red de tráfico Can Vidalet, en otros meses para detectar si hay estacionalidad.
- Simular otras redes de mayor complejidad, a partir de la experiencia adquirida en este proyecto.

ANEXO 1

ELECCIÓN DEL NÚMERO DE RÉPLICAS

En dos condiciones experimentales diferentes se obtienen las estadísticas siguientes:

A) En una vía de 3 carriles, V_{\max} de 100 km/h, $\theta \sim N(1, 0.08)$ y flujo 2000 veh/h

	FLUJO	DENSIDAD	SPEED (σ)		FLUJO	DENSIDAD	SPEED (σ)
Seed : 3312	2036	21.5	93.8 (6.2)				
Seed : 8562	1943	20.6	93.7 (6.2) \rightarrow	$n=2$	1989.5	21.05	93.75 (6.20)
Seed : 0382	1967	20.8	93.8 (6.5) \rightarrow	$n=3$	1982.0	20.96	93.76 (6.30)
Seed : 4634	2076	22.0	93.6 (6.4) \rightarrow	$n=4$	2005.5	21.22	93.72 (6.32)
Seed : 0206	1967	20.8	93.5 (6.2) \rightarrow	$n=5$	1997.8	21.14	93.68 (6.30)
Seed : 3004	2031	21.4	93.6 (6.1) \rightarrow	$n=6$	2003.3	21.18	93.66 (6.26)
Seed : 0999	2072	22.0	93.4 (6.2) \rightarrow	$n=7$	2013.1	21.30	93.63 (6.26)
Seed : 4487	2018	21.5	93.3 (6.3) \rightarrow	$n=8$	2013.7	21.32	93.59 (6.26)
Seed : 8841	1956	20.7	93.8 (6.2) \rightarrow	$n=9$	2007.3	21.25	93.61 (6.25)
Seed : 0490	2040	21.7	93.4 (6.2) \rightarrow	$n=10$	2010.6	21.30	93.59 (6.25)
Seed : 4001	2069	22.0	93.4 (6.3) \rightarrow	$n=11$	2015.9	21.36	93.57 (6.25)
Seed : 2694	2074	22.0	93.8 (6.2) \rightarrow	$n=12$	2020.7	21.41	93.59 (6.25)
Seed : 7399	2005	21.3	93.6 (6.4) \rightarrow	$n=13$	2019.5	21.40	93.59 (6.26)

B) En una vía de 2 carriles, V_{\max} de 100 km/h, $\theta \sim N(1, 0.08)$ y flujo 2500 veh/h

	FLUJO	DENSIDAD	SPEED (σ)		FLUJO	DENSIDAD	SPEED (σ)
Seed : 4275	2567	24.9	102.0 (6.5)				
Seed : 0035	2539	24.6	102.5 (6.4) \rightarrow	$n=2$	2553.0	24.75	102.25 (6.45)
Seed : 9688	2557	24.8	102.5 (6.4) \rightarrow	$n=3$	2554.3	24.77	102.33 (6.43)
Seed : 4218	2510	24.3	102.4 (6.7) \rightarrow	$n=4$	2543.2	24.65	102.35 (6.50)
Seed : 6414	2484	23.9	102.7 (6.6) \rightarrow	$n=5$	2531.4	24.50	102.32 (6.52)
Seed : 3177	2585	24.9	102.4 (6.1) \rightarrow	$n=6$	2540.3	24.57	102.42 (6.45)
Seed : 1085	2496	24.1	102.5 (6.7) \rightarrow	$n=7$	2534.0	24.50	102.49 (6.49)
Seed : 5500	2418	23.2	102.9 (6.7) \rightarrow	$n=8$	2519.5	24.34	102.52 (6.51)
Seed : 2724	2455	23.8	102.5 (6.6) \rightarrow	$n=9$	2512.3	24.28	102.53 (6.52)
Seed : 0871	2515	24.3	102.8 (6.6) \rightarrow	$n=10$	2512.6	24.28	102.52 (6.53)
Seed : 2188	2464	23.9	102.6 (6.7) \rightarrow	$n=11$	2508.2	24.25	102.53 (6.55)
Seed : 3053	2539	24.3	103.2 (6.4) \rightarrow	$n=12$	2510.7	24.25	102.58 (6.53)
Seed : 7683	2579	25.2	101.9 (6.6) \rightarrow	$n=13$	2516.0	24.32	102.53 (6.54)

Normalmente, el número de replicaciones se determina en función de la precisión que queramos obtener y de los recursos que disponemos.

Cuanto mayor sea n más fiables serán los datos, pero más costoso será recogerlos, por lo tanto elegiremos un número de réplicas que sin ser demasiado grande nos permita paliar el efecto del factor aleatoriedad.

Nuestro principal problema es el de acotar el número de experimentos, ya que la simulación de todas las condiciones experimentales requiere mucho tiempo. Por ejemplo, si se utilizaran sólo dos réplicas, el número de experimentos a realizar sería de $600n$; y con n de $300n$.

La n elegida es 3.

Haciendo 3 réplicas se tienen que realizar 900 experimentos, y como se puede observar en los dos ejemplos, el error que se comete al estimar las variables que analizaremos en nuestro estudio (flujo, densidad y velocidad de circulación) es poco relevante.

Ejemplo A

Ejemplo B

	FLUJO	DENSIDAD	SPEED (σ)		FLUJO	DENSIDAD	SPEED (σ)
$n=3$	1982.0	20.96	93.76 (6.30)	$n=3$	2554.3	24.77	102.33 (6.43)
$n=13$	2019.5	21.40	93.59 (6.26)	$n=13$	2516.0	24.32	102.53 (6.54)

% de Variación

FLUJO	DENSIDAD	SPEED	FLUJO	DENSIDAD	SPEED
1.86	2.06	1.81	1.50	1.82	1.95

GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS

Un aspecto importante en la simulación es la generación de números aleatorios (g.n.a.). Éstos permitirán que AIMSUN2 genere realizaciones diferentes de las variables aleatorias que utilizamos en la simulación. Para obtener los números aleatorios se ha implementado el siguiente programa en turbo pascal:

PROGRAMA

```

program gna;
  uses crt;
  const bmax=31; max=999;r=5;q=23;
  type vector=array[1..bmax] of integer;
        cadena=string[bmax];
        paraula=string[12];
        fitxer=text;

  var v:vector; l,h:integer; ft:fitxer; nomfit:paraula; c:char;

function elevar (num,exp:longint):longint;
  var i,k:integer;
  begin
    if exp=0 then elevar:=1 else begin
      k:=num;
      for i:=1 to exp-1 do
        num:=num*k;
        elevar:=num;
      end;
    end;
  end;

procedure llegir_vector_inicial(var v:vector;var nomfit:paraula);
  var benintro,llegir:boolean;i:integer; llavor:cadena;
  begin
    writeln('GENERADOR DE NOMBRES ALEATORIS');
    writeln('=====');
    writeln;writeln;
    benintro:=false;
    llegir:=false;
    while not benintro do
      begin
        writeln('Doneu un n de ',bmax,' xifres, que siguin 0 o 1: ');
        writeln;
        writeln(' 5 10 15 20 25 30 ');
        writeln(' * * * * * ');
        if llegir then readln;
        read(llavor);
        i:=1;
        benintro:=true;
        while (i<=bmax) and (benintro) do
          begin
            v[i]:=ord(llavor[i])-ord('0');
            benintro:=(v[i]=0) or (v[i]=1);
            if not benintro then
              begin
                llegir:=true;
                writeln;
                writeln('Escriu b, el número!!');
                end;

            i:=i+1;
          end;
        end;
        writeln;
        writeln('Digues quin vols que sigui el nom del fitxer on hi');
        writeln('grabem els nombres aleatoris que va generant el simulador:');
        readln;

        readln(nomfit);
        end;

```



```

procedure num_seg (var v:vector; r,q:integer);
  var i,seg:integer;
  begin
    seg:=(v[bmax+1-r]+v[bmax+1-q]) mod 2;
    for i:=1 to bmax-1 do
      v[i]:=v[i+1];
    v[bmax]:=seg;
  end;

procedure grabar_n(var ft:fitxer;n:integer);
  begin
    {$i-}
    assign(ft,nomfit);
    reset(ft);
    if ioresult<>0 then rewrite (ft) else append(ft);
    writeln(ft,n);
    close(ft);
    {$i+}
  end;

procedure grabar(var ft:fitxer;nale:real);
  begin
    {$i-}
    assign(ft,nomfit);
    reset(ft);
    if ioresult<>0 then rewrite (ft) else append(ft);
    writeln(ft,nale);
    close(ft);
    {$i+}
  end;

procedure transformar_num(v:vector);
  var nale:real;j,k:integer;num_aleat:longint;
  begin
    num_aleat:=0;
    k:=1;
    for j:=1 to bmax do
      begin
        if v[j]=1 then num_aleat:=num_aleat+elevar(2,bmax-k);
        k:=k+1;
      end;
    nale:=num_aleat/(elevar(2,bmax)-1);
    grabar(ft,nale);
  end;

begin
  clrscr;
  llegir_vector_inicial(v,nomfit);
  grabar_n(ft,max+1);
  transformar_num(v);
  clrscr;
  for l:=1 to max do
    begin
      gotoxy(2,2);
      write('Generant n$ aleatori ',1);
      for h:=1 to 7 do
        num_seg(v,r,q);
        transformar_num(v);
      end;
      gotoxy(10,23);
      write('Generaci# de nombres aleatoris finalitzada.      Prem una tecla');
      c:=readkey;
    end;
end.

```

MODELO FREE-FLOW

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN UN CARRIL

Un carril_ $V_{\max} = 80 \text{ km/h}$ $\theta = 0.8$
--

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4209	495	7.8	63.7 ($\sigma = 0.8$)	56 " ($\sigma = 0$)
Seed : 0097	532	8.3	63.8 ($\sigma = 0.5$)	56 " ($\sigma = 0$)
Seed : 3981	521	8.2	63.7 ($\sigma = 0.6$)	56 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0440	1032	16.3	63.3 ($\sigma = 1.1$)	56 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4890	973	15.3	63.4 ($\sigma = 1$)	56 " ($\sigma = 0$)
Seed : 8405	1034	16.2	63.3 ($\sigma = 1$)	56 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0651	1538	24.6	62.5 ($\sigma = 1.5$)	57 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9524	1505	24	62.3 ($\sigma = 1.6$)	57 " ($\sigma = 1$)
Seed : 7415	1496	24	62.4 ($\sigma = 1.6$)	57 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0651	1538	24.6	62.5 ($\sigma = 1.5$)	57 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9524	1505	24	62.3 ($\sigma = 1.6$)	57 " ($\sigma = 1$)
Seed : 7415	1496	24	62.4 ($\sigma = 1.6$)	57 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1171	1894	31.8	59.5 ($\sigma = 1.6$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 6796	1910	32.2	59.5 ($\sigma = 1.6$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 0730	1877	31.4	59.9 ($\sigma = 1.9$)	1' ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2454	1953	33.5	58.5 ($\sigma = 0.8$)	1'1" ($\sigma = 0$)
Seed : 8636	1954	33.4	58.6 ($\sigma = 0.8$)	1'1" ($\sigma = 0$)
Seed : 5604	1954	33.4	58.7 ($\sigma = 0.9$)	1'1" ($\sigma = 0$)

Un_80_1

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4319	520	7.2	72.8 ($\sigma = 5.6$)	49" ($\sigma = 3$)
Seed : 2662	505	6.9	73 ($\sigma = 5.7$)	49" ($\sigma = 4$)
Seed : 6690	518	7.1	72.6 ($\sigma = 5.8$)	49" ($\sigma = 4$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4627	983	14	70.2 ($\sigma = 5.1$)	51" ($\sigma = 3$)
Seed : 1392	996	14.4	69.4 ($\sigma = 5.4$)	52" ($\sigma = 3$)
Seed : 4702	1016	14.6	69.6 ($\sigma = 5.2$)	52" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2000	1499	22.7	66.3 ($\sigma = 4.2$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 0818	1502	22.7	66.3 ($\sigma = 4$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 5907	1479	22.3	66.3 ($\sigma = 4.2$)	54" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9812	1918	32	60.1 ($\sigma = 2.5$)	59" ($\sigma = 2$)
Seed : 5000	1944	32.3	60.2 ($\sigma = 2.1$)	59" ($\sigma = 1$)
Seed : 7223	1928	32.3	59.9 ($\sigma = 2$)	1' ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0122	1956	33	59.3 ($\sigma = 1.1$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 4493	1961	32.9	59.6 ($\sigma = 1.3$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 4025	1952	33	59.4 ($\sigma = 1$)	1' ($\sigma = 0$)

Un_80_1.2

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8140	493	6.7	73.9 ($\sigma = 7.8$)	49" ($\sigma = 5$)
Seed : 2004	537	7.3	74.3 ($\sigma = 7.3$)	48" ($\sigma = 4$)
Seed : 1193	482	6.5	74 ($\sigma = 7$)	49" ($\sigma = 4$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4727	993	14	70.9 ($\sigma = 5.4$)	51" ($\sigma = 3$)
Seed : 9407	959	13.6	70.8 ($\sigma = 5.5$)	51" ($\sigma = 3$)
Seed : 5779	961	13.7	70.5 ($\sigma = 5.6$)	51" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1915	1493	22.6	66.2 ($\sigma = 4.3$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 1110	1483	22.4	66.2 ($\sigma = 4.3$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 7703	1434	21.4	67 ($\sigma = 4.7$)	53" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5552	1958	32.8	59.8 ($\sigma = 1.5$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 0527	1953	32.9	59.5 ($\sigma = 1.6$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 9583	1934	32.3	60 ($\sigma = 2$)	1' ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9496	1952	33	59.3 ($\sigma = 1.1$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 9579	1959	33	59.4 ($\sigma = 1.1$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 2807	1957	32.9	59.6 ($\sigma = 1.5$)	1' ($\sigma = 1$)

Un_80_1.4

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4619	493	6.7	73.4 ($\sigma = 6.9$)	49" ($\sigma = 4$)
Seed : 1903	477	6.5	74.5 ($\sigma = 6.9$)	48" ($\sigma = 4$)
Seed : 6332	462	6.3	74.1 ($\sigma = 7.5$)	49" ($\sigma = 4$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6379	1006	14.4	70.3 ($\sigma = 5.3$)	51" ($\sigma = 3$)
Seed : 6415	1055	15	70.1 ($\sigma = 5.2$)	51" ($\sigma = 3$)
Seed : 1737	1011	14.4	69.9 ($\sigma = 5.3$)	51" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1381	1558	23.5	66.2 ($\sigma = 4$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 7276	1483	22.4	66.1 ($\sigma = 4.6$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 2513	1439	21.7	66.8 ($\sigma = 4.2$)	54" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9620	1949	32.8	59.6 ($\sigma = 1.6$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 4161	1906	31.4	60.8 ($\sigma = 2.7$)	59" ($\sigma = 2$)
Seed : 4395	1954	33	59.4 ($\sigma = 1.9$)	1' ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2139	1958	33	59.4 ($\sigma = 1.8$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 3078	1957	32.9	59.6 ($\sigma = 1.4$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 0854	1958	33	59.4 ($\sigma = 1.3$)	1' ($\sigma = 1$)

Un_100_0.8

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5945	481	6	79.8 ($\sigma = 0.4$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4778	484	6	79.8 ($\sigma = 0.4$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 1172	538	6.7	79.8 ($\sigma = 0.4$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5210	1059	13.3	79.2 ($\sigma = 1.1$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 0546	972	12.1	79.4 ($\sigma = 0.8$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 0051	1013	12.6	79.4 ($\sigma = 0.9$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1967	1497	18.9	78.7 ($\sigma = 1.4$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 7449	1521	19.2	78.6 ($\sigma = 1.4$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 9880	1472	18.7	78.4 ($\sigma = 1.7$)	45 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4948	1967	26	75.4 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6094	1964	26.1	75 ($\sigma = 2.5$)	48 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4000	1939	25.7	75.3 ($\sigma = 2.5$)	47 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3230	2056	28.1	72.9 ($\sigma = 0.7$)	49 " ($\sigma = 0$)
Seed : 6065	2058	28.1	73.1 ($\sigma = 0.9$)	49 " ($\sigma = 0$)
Seed : 7589	2058	28.1	73 ($\sigma = 0.8$)	49 " ($\sigma = 0$)

Un_100_1

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8918	466	4.9	93.7 ($\sigma = 5.8$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6145	487	5.1	95 ($\sigma = 5.1$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3435	515	5.5	93.9 ($\sigma = 5.5$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0466	1006	11	90.8 ($\sigma = 5.5$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9369	970	10.5	91.8 ($\sigma = 5.5$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4832	1016	11.2	90.6 ($\sigma = 5.7$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3047	1443	16.5	87.4 ($\sigma = 5.5$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9534	1471	17	86.8 ($\sigma = 5.2$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3504	1505	17.1	87.2 ($\sigma = 5.1$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3871	1907	23.1	82.5 ($\sigma = 4.7$)	43 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4321	1954	24.4	80.2 ($\sigma = 5.2$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8576	2046	26.8	76.3 ($\sigma = 2.8$)	47 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6690	2067	27.2	75.7 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 0013	2070	27.2	75.9 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4158	2069	27.1	76 ($\sigma = 2$)	47 " ($\sigma = 1$)

Un_100_1.2

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8664	496	5.2	96 ($\sigma = 7.4$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8883	529	5.5	95.6 ($\sigma = 7.4$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9414	479	5	95.4 ($\sigma = 7.6$)	37 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5861	976	10.6	91.7 ($\sigma = 6.6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7889	979	10.6	92.2 ($\sigma = 6.5$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6605	1011	11	91.8 ($\sigma = 6.4$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4560	1488	17	87.4 ($\sigma = 6$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7735	1592	18.4	85.9 ($\sigma = 5.8$)	42 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4367	1446	16.6	87.3 ($\sigma = 5.5$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9389	1972	25.2	78.6 ($\sigma = 4.6$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0575	1982	24.7	80 ($\sigma = 4.8$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2417	2000	25.2	79.2 ($\sigma = 4.2$)	45 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8591	2069	27.2	75.9 ($\sigma = 1.9$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6369	2068	27.3	75.5 ($\sigma = 1.7$)	47 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4422	2069	27.2	75.9 ($\sigma = 2$)	47 " ($\sigma = 1$)

Un_100_1.4

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3734	503	5.3	95.6 ($\sigma = 7.7$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 5083	478	5	96.1 ($\sigma = 8.1$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 6701	478	5	95.2 ($\sigma = 7.6$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4282	988	10.7	91.9 ($\sigma = 6.8$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9300	1073	11.7	91.5 ($\sigma = 6.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6012	1018	11.1	90.9 ($\sigma = 6.8$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8740	1511	17.2	87.5 ($\sigma = 5.6$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4682	1530	17.6	86.9 ($\sigma = 5.4$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4081	1493	17.2	86.9 ($\sigma = 6.2$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0763	1995	25.3	78.9 ($\sigma = 4.5$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8941	2017	25.4	79.2 ($\sigma = 3.6$)	45 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4821	2032	26.2	77.4 ($\sigma = 3.4$)	46 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7874	2067	27.2	75.9 ($\sigma = 2.2$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8523	2069	27.1	76.2 ($\sigma = 2.0$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4145	2069	27.2	75.9 ($\sigma = 2.1$)	47 " ($\sigma = 1$)

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN DOS CARRILES

Dos carriles_ $V_{max} = 100$ _ $\theta = 0.8$

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9526	1506	18.7	79.6 ($\sigma = 0.6$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 9088	1443	17.9	79.6 ($\sigma = 0.5$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 6966	1476	18.3	79.6 ($\sigma = 0.5$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2087	1977	24.7	79.4 ($\sigma = 0.7$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4864	1925	24	79.4 ($\sigma = 0.8$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 6396	2081	26	79.4 ($\sigma = 0.8$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5665	2585	32.5	79.1 ($\sigma = 1.1$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 3695	2436	30.6	79.2 ($\sigma = 1$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4838	2448	30.7	79.1 ($\sigma = 1$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2605	3004	37.8	78.7 ($\sigma = 1.4$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 6392	2909	36.7	78.8 ($\sigma = 1.2$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 3680	2941	37	78.6 ($\sigma = 1.3$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8748	3523	45	78 ($\sigma = 1.5$)	46 " ($\sigma = 0$)
Seed : 0215	3499	44.7	77.7 ($\sigma = 1.7$)	46 " ($\sigma = 1$)
Seed : 5764	3411	43.5	78.1 ($\sigma = 1.6$)	46 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1341	4073	54.8	74.1 ($\sigma = 1.9$)	48 " ($\sigma = 1$)
Seed : 0705	3949	52	75.8 ($\sigma = 2.2$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8592	3952	52.4	75.2 ($\sigma = 2.3$)	47 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9386	4112	56.1	73.1 ($\sigma = 0.8$)	49 " ($\sigma = 0$)
Seed : 6296	4114	56.2	73 ($\sigma = 0.7$)	49 " ($\sigma = 0$)
Seed : 3487	4112	56.2	73.1 ($\sigma = 0.8$)	49 " ($\sigma = 0$)

Dos_100_1

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5621	1512	15.9	94.3 ($\sigma = 5.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2503	1428	14.9	94.7 ($\sigma = 5.1$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3914	1484	15.6	94.2 ($\sigma = 5.2$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0906	1994	21.2	93.4 ($\sigma = 5.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6309	1941	20.5	93.8 ($\sigma = 5.1$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7328	1943	20.6	93.6 ($\sigma = 5.1$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1176	2538	27.5	91.8 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8980	2422	26.1	92.2 ($\sigma = 5.4$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3332	2579	28	91.6 ($\sigma = 5.4$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0090	3038	33.5	90 ($\sigma = 5.5$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8001	2974	32.7	90 ($\sigma = 5.6$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2956	2979	32.7	90.4 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2993	3444	39.2	87.5 ($\sigma = 5.5$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5438	3529	40.6	86.7 ($\sigma = 5.1$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9005	3520	40.4	86.8 ($\sigma = 5.5$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1119	4018	50.7	79.2 ($\sigma = 4.6$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5893	4005	49.2	81 ($\sigma = 4.5$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8089	3931	48.1	81.6 ($\sigma = 4.9$)	44 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7108	4115	54	76.1 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8467	4119	54	76.1 ($\sigma = 2.1$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 2020	4106	53.6	76.6 ($\sigma = 2.9$)	47 " ($\sigma = 1$)

Dos_100_1.2

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7137	1514	15.5	97.4 ($\sigma = 7.9$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3478	1497	15.3	97.1 ($\sigma = 7.7$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2929	1446	14.8	97.4 ($\sigma = 7.8$)	37 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6615	1982	20.7	95.2 ($\sigma = 7.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7653	2013	20.9	95.2 ($\sigma = 7.3$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9345	2023	21.1	95.2 ($\sigma = 7.3$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6154	2531	26.9	93.6 ($\sigma = 6.9$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8025	2521	26.9	93.5 ($\sigma = 6.6$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6071	2460	26.1	93.7 ($\sigma = 6.8$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6476	2936	32	91.1 ($\sigma = 6.4$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3289	2856	31	91.7 ($\sigma = 6.7$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9450	2922	32.1	90.7 ($\sigma = 6.5$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7705	3532	40.4	87.2 ($\sigma = 6$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6251	3462	39.5	87.2 ($\sigma = 6.4$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1707	3463	39.3	87.8 ($\sigma = 5.8$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1954	3902	47.5	82.1 ($\sigma = 1.9$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4893	3948	47.8	82.3 ($\sigma = 2.2$)	43 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6325	3990	49.9	80 ($\sigma = 2.3$)	45 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0119	4115	53.6	76.6 ($\sigma = 2.8$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9959	4120	53.7	76.7 ($\sigma = 2.7$)	46 " ($\sigma = 1$)
Seed : 2107	4125	53.8	76.4 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)

Dos_100_1.4

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5367	1445	14.7	97.4 ($\sigma = 8.3$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 3077	1521	15.6	97.2 ($\sigma = 7.8$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0623	1454	14.8	97.5 ($\sigma = 8.1$)	37 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7147	1949	20.3	95.5 ($\sigma = 7.4$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6467	2033	21.3	95.2 ($\sigma = 7.3$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4211	2111	22	95.1 ($\sigma = 7$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5346	2475	26.4	93.4 ($\sigma = 7$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0666	2471	26.4	93.2 ($\sigma = 6.9$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5533	2505	26.6	93.5 ($\sigma = 6.7$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1016	2979	32.6	91.3 ($\sigma = 6.2$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8896	2991	32.8	90.7 ($\sigma = 6.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0396	2944	32.1	91 ($\sigma = 6.4$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8330	3398	38.7	87.6 ($\sigma = 5.9$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2964	3502	39.9	87.4 ($\sigma = 6.3$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5572	3445	39.1	87.7 ($\sigma = 6$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8724	3922	47.9	81.5 ($\sigma = 5.7$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0055	4073	52.1	78.1 ($\sigma = 4.1$)	46 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4700	3904	46.8	83 ($\sigma = 4.8$)	43 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8345	4122	53.9	76.3 ($\sigma = 2$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8845	4120	54.1	76 ($\sigma = 2.3$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6805	4120	53.8	76.5 ($\sigma = 2.6$)	47 " ($\sigma = 1$)

Dos_120_0.8

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2397	1523	15.9	95.1 ($\sigma = 1.5$)	37 " ($\sigma = 0$)
Seed : 2462	1457	15.1	95.3 ($\sigma = 1.3$)	37 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5633	1485	15.4	95.1 ($\sigma = 1.4$)	37 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4164	1962	20.5	94.8 ($\sigma = 1.5$)	37 " ($\sigma = 0$)
Seed : 1058	2043	21.3	94.8 ($\sigma = 1.5$)	37 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5293	2025	21.2	94.7 ($\sigma = 1.7$)	38 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6918	2515	26.4	94.3 ($\sigma = 1.8$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 9167	2431	25.3	94.5 ($\sigma = 1.6$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 6978	2506	26.3	94.2 ($\sigma = 1.9$)	38 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7471	3010	32	93.6 ($\sigma = 2.3$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 8448	2885	30.5	93.7 ($\sigma = 2.2$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5597	2995	31.6	93.4 ($\sigma = 2.3$)	38 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4930	3506	37.6	92.1 ($\sigma = 2.8$)	39 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4602	3496	37.7	91.9 ($\sigma = 3.1$)	39 " ($\sigma = 1$)
Seed : 0178	3489	37.7	92.1 ($\sigma = 2.9$)	39 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8354	4042	46.2	87 ($\sigma = 4$)	41 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8085	3880	42.7	90.4 ($\sigma = 2.9$)	39 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9272	3994	44.8	88.6 ($\sigma = 3.4$)	40 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9896	4187	50.1	83.3 ($\sigma = 2.5$)	43 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9425	4176	49.5	84.1 ($\sigma = 2.8$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4814	4198	50.6	82.7 ($\sigma = 1.8$)	43 " ($\sigma = 0$)

Dos_120_1

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7480	1586	14.8	106.5 ($\sigma = 7.3$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5043	1464	13.6	106.5 ($\sigma = 7.3$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1250	1472	13.6	107.3 ($\sigma = 7.4$)	33 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4301	2072	19.6	105.1 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3707	2021	19.1	105 ($\sigma = 6.9$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6775	2073	19.6	105 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0276	2429	23.1	103.8 ($\sigma = 7$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2151	2513	24	103.4 ($\sigma = 6.8$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3896	2472	23.8	103.2 ($\sigma = 6.9$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4902	3137	31	100.3 ($\sigma = 6.5$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2296	3017	29.7	100.6 ($\sigma = 6.5$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7541	2988	29.3	101.4 ($\sigma = 6.6$)	35 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7577	3498	35.7	97.2 ($\sigma = 6.1$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7037	3519	36	97.2 ($\sigma = 6.4$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7441	3509	35.6	97.8 ($\sigma = 6$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1231	3972	43.1	91.8 ($\sigma = 6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0936	4010	44.3	90.3 ($\sigma = 6$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7328	3919	42.3	92.3 ($\sigma = 5.7$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5007	4202	49.5	84.7 ($\sigma = 2.7$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6826	4189	49.5	84.5 ($\sigma = 3.1$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3289	4172	48.8	85.4 ($\sigma = 3.9$)	42 " ($\sigma = 1$)

Dos_120_1.2

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3706	1468	13.6	107.3 ($\sigma = 7.8$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1409	1461	13.5	107.5 ($\sigma = 8.1$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2577	1561	14.5	106.6 ($\sigma = 8.1$)	33 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0019	1993	18.7	105.7 ($\sigma = 7.4$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2555	2023	19.1	105.4 ($\sigma = 7.7$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7010	1979	18.6	105.6 ($\sigma = 7.7$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1226	2536	24.3	103.7 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0741	2541	24.5	103 ($\sigma = 7$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2198	2540	24.2	103.6 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0394	3113	30.7	100.7 ($\sigma = 6.4$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7372	2946	28.8	101.6 ($\sigma = 6.5$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0031	2993	29.4	101 ($\sigma = 6.7$)	35 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1510	3463	35.1	97.8 ($\sigma = 6.1$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8240	3554	36.7	96.5 ($\sigma = 6.4$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0162	3456	35	98 ($\sigma = 6$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6159	3996	43.6	91.2 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1867	4111	46.4	88.4 ($\sigma = 5$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4779	3897	41.8	92.7 ($\sigma = 5.7$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6701	4179	48.9	85.3 ($\sigma = 3.4$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 2690	4198	48.9	85.6 ($\sigma = 2.6$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9071	4193	48.9	85.5 ($\sigma = 3.3$)	42 " ($\sigma = 1$)

Dos_120_1.4

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8625	1518	14	106.8 ($\sigma = 7.8$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0463	1538	14.3	107.2 ($\sigma = 8.2$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6460	1508	13.9	106.9 ($\sigma = 7.8$)	33 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7161	1964	18.4	105.7 ($\sigma = 7.7$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6598	1977	18.6	105.2 ($\sigma = 7.8$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2152	2052	19.4	105.2 ($\sigma = 7.3$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0617	2462	23.5	103.4 ($\sigma = 7.2$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6585	2597	24.8	103.3 ($\sigma = 7$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5094	2503	23.9	103.4 ($\sigma = 7.2$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4266	3142	31.1	100.5 ($\sigma = 6.7$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7736	2930	28.8	101.2 ($\sigma = 6.6$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8158	3002	29.7	100.3 ($\sigma = 7.1$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4182	3542	36.2	97.2 ($\sigma = 6.5$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8896	3518	36	97.1 ($\sigma = 6.7$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2406	3466	35.1	97.9 ($\sigma = 6.1$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8358	3934	42.8	92 ($\sigma = 6.1$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3622	3970	43	91.5 ($\sigma = 5.2$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7137	4016	44.2	90.4 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4839	4186	48.3	86.4 ($\sigma = 3.3$)	41 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6634	4200	49.5	84.5 ($\sigma = 2.4$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3038	4186	49.1	85.1 ($\sigma = 3.1$)	42 " ($\sigma = 1$)

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN TRES CARRILES

Tres carriles_ $V_{max} = 100$ _ $\theta = 0.8$

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5964	2005	25	79.5 ($\sigma = 0.7$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4548	1953	24.4	79.5 ($\sigma = 0.7$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5960	2004	25	79.5 ($\sigma = 0.7$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4499	3033	37.9	79.2 ($\sigma = 1$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 9103	2885	36.1	79.3 ($\sigma = 0.9$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 0824	3035	38	79.3 ($\sigma = 0.9$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2512	4047	50.6	78.9 ($\sigma = 1.2$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5201	3984	50.1	79 ($\sigma = 1.1$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 2860	3922	49.3	79 ($\sigma = 1.1$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3920	5070	64.3	78.1 ($\sigma = 1.5$)	46 " ($\sigma = 0$)
Seed : 0633	4981	63	78.3 ($\sigma = 1.4$)	45 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5512	4940	62.5	78.4 ($\sigma = 1.4$)	45 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7102	5928	78	75.8 ($\sigma = 2.1$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 2124	6007	79.3	75.5 ($\sigma = 2.1$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4550	5809	75.4	76.7 ($\sigma = 1.7$)	46 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3856	6167	84.3	73 ($\sigma = 0.8$)	49 " ($\sigma = 0$)
Seed : 1853	6161	84.1	73.1 ($\sigma = 0.9$)	49 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5457	6162	84.1	73.2 ($\sigma = 0.9$)	49 " ($\sigma = 0$)

Tres_100_1

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7661	1928	20.2	94.8 ($\sigma = 5.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6837	1946	20.3	94.7 ($\sigma = 5.1$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4789	2048	21.5	94.7 ($\sigma = 5.1$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2831	2973	31.5	93.5 ($\sigma = 5.4$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4139	2969	31.7	93.4 ($\sigma = 5.3$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9745	2970	31.6	93.3 ($\sigma = 5.4$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9371	3934	42.6	91.9 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3586	3970	42.9	91.8 ($\sigma = 5.5$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0474	3952	42.7	91.9 ($\sigma = 5.5$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8029	5047	56.7	88.3 ($\sigma = 5.6$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7161	4978	55.7	88.9 ($\sigma = 5.8$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2587	4932	55.1	88.9 ($\sigma = 5.8$)	40 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0093	5983	74.2	80.7 ($\sigma = 5.1$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7301	6050	75.2	80.1 ($\sigma = 4.7$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1439	5925	71.8	82.2 ($\sigma = 5.1$)	43 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3907	6166	81.1	75.9 ($\sigma = 0.8$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3030	6157	81.5	75.5 ($\sigma = 0.9$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8310	6157	81	76 ($\sigma = 0.9$)	47 " ($\sigma = 1$)

Tres_100_1.2

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7405	1981	20.2	98.1 ($\sigma = 8.5$)	36 " ($\sigma = 3$)
Seed : 5751	2013	20.5	97.8 ($\sigma = 8.4$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 8293	1938	19.7	97.7 ($\sigma = 8.4$)	37 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1936	2992	30.3	95.9 ($\sigma = 7.9$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 5159	2999	31.1	96 ($\sigma = 8.1$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 3468	3012	31.2	95.9 ($\sigma = 8$)	37 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6812	3826	40.4	94.2 ($\sigma = 7.4$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0738	4025	42.9	93.3 ($\sigma = 7.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9696	4070	43.3	93.5 ($\sigma = 7.6$)	38 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2975	4958	55.1	89.8 ($\sigma = 6.7$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2845	4994	55.9	89.2 ($\sigma = 6.7$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6716	4937	54.7	89.9 ($\sigma = 6.8$)	40 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1770	6040	75.3	80 ($\sigma = 5.1$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9220	5930	73	81.1 ($\sigma = 5.5$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9287	5840	69.3	83.9 ($\sigma = 5.3$)	43 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6868	6169	81.1	75.9 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3571	6161	80.8	76.1 ($\sigma = 2.8$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 0693	6161	80.8	76.1 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)

Tres_100_1.4

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0104	1995	20.2	98.1 ($\sigma = 8.4$)	36 " ($\sigma = 3$)
Seed : 9054	2107	21.5	97.7 ($\sigma = 8.4$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 2520	2000	20.3	98.2 ($\sigma = 8.5$)	36 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6075	3037	31.4	96.1 ($\sigma = 8$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 6050	3011	31.1	96 ($\sigma = 8$)	37 " ($\sigma = 3$)
Seed : 2659	2991	31	96.1 ($\sigma = 8.1$)	37 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6878	3959	42.2	93.6 ($\sigma = 7.5$)	38 " ($\sigma = 3$)
Seed : 8941	3980	42.2	93.7 ($\sigma = 7.3$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6291	4032	43.1	93.3 ($\sigma = 7.4$)	38 " ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9572	4977	55.2	89.7 ($\sigma = 6.6$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4628	5046	55.8	90 ($\sigma = 6.4$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6549	4909	54.2	90.2 ($\sigma = 6.4$)	40 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6160	5993	73.3	81.5 ($\sigma = 4.8$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8313	6086	77.6	78.5 ($\sigma = 4.6$)	46 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1329	6024	74.6	80.7 ($\sigma = 4.7$)	44 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2043	6155	80.2	76.6 ($\sigma = 2.7$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3931	6156	80.5	76.3 ($\sigma = 2.8$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6389	6165	80.7	76.3 ($\sigma = 2.8$)	47 " ($\sigma = 1$)

Tres_120_0.8

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1374	2010	21.4	95 ($\sigma = 1.4$)	37 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4960	1963	21	95 ($\sigma = 1.5$)	37 " ($\sigma = 0$)
Seed : 7730	1944	20.8	95 ($\sigma = 1.6$)	37 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5144	2898	30.9	94.7 ($\sigma = 1.7$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 7040	2870	30.8	94.6 ($\sigma = 1.7$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 4359	2973	31.7	94.6 ($\sigma = 1.7$)	38 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3198	3924	42.3	94.1 ($\sigma = 2$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 5316	3991	43	94 ($\sigma = 1.9$)	38 " ($\sigma = 0$)
Seed : 1617	3991	43	93.9 ($\sigma = 2$)	38 " ($\sigma = 0$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8051	5015	54.9	92.4 ($\sigma = 2.7$)	39 " ($\sigma = 1$)
Seed : 0932	4855	53.1	92.7 ($\sigma = 2.7$)	38 " ($\sigma = 1$)
Seed : 1950	4842	52.7	93 ($\sigma = 2.4$)	38 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4524	5895	68	88.3 ($\sigma = 3.8$)	40 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6913	5903	68.5	87.8 ($\sigma = 3.7$)	41 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4263	5799	65.9	89.4 ($\sigma = 3.7$)	40 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8873	6180	76.2	82.7 ($\sigma = 2$)	43 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3595	6176	76.1	82.8 ($\sigma = 2.2$)	43 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4371	6170	76	82.8 ($\sigma = 2.2$)	43 " ($\sigma = 1$)

Tres_120_1

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4933	2003	19	106.9 ($\sigma = 7.7$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7883	1936	18.3	107.3 ($\sigma = 7.8$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9666	1964	18.7	107.1 ($\sigma = 7.7$)	33 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6824	2950	28.4	105.7 ($\sigma = 7.6$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1339	2937	28.3	105.5 ($\sigma = 7.6$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6703	2969	28.7	105.4 ($\sigma = 7.5$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5160	3978	39.2	103.1 ($\sigma = 7.2$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2678	3980	39.5	103 ($\sigma = 7.3$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0370	3991	39.5	102.7 ($\sigma = 7.2$)	35 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3958	4969	50.9	99.3 ($\sigma = 6.7$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7294	4925	50.3	99.4 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1848	4962	50.7	99.5 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 9223	5955	67.5	90.2 ($\sigma = 5.8$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1869	6005	69.1	88.7 ($\sigma = 6.1$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4086	5929	66.4	91 ($\sigma = 5.7$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6204	6177	74.8	84.2 ($\sigma = 3.2$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3743	6172	75.2	83.7 ($\sigma = 3.2$)	43 " ($\sigma = 1$)
Seed : 2342	6183	75.4	83.7 ($\sigma = 2.5$)	43 " ($\sigma = 1$)

Tres_120_1.2

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5820	1947	18.3	108 ($\sigma = 8.6$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5973	1884	17.8	108 ($\sigma = 8.8$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5443	1911	18	108 ($\sigma = 8.7$)	33 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1185	2963	28.3	106.2 ($\sigma = 8.2$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9163	2992	28.8	105.6 ($\sigma = 8$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7174	2914	28	105.9 ($\sigma = 8.3$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5154	3883	38.1	103.5 ($\sigma = 7.6$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7200	3861	37.9	103.5 ($\sigma = 7.7$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8553	3812	37.3	104 ($\sigma = 7.6$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1913	4969	50.8	99.3 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6537	5023	51.6	99 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0530	4915	50	99.7 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7320	5898	65.7	91.5 ($\sigma = 6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5091	5857	64.6	92.3 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6812	5838	64	92.8 ($\sigma = 5.7$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3390	6177	75.1	83.9 ($\sigma = 2.8$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 5736	6180	74.9	84.1 ($\sigma = 2.8$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4570	6179	74.8	84.2 ($\sigma = 2.7$)	42 " ($\sigma = 1$)

Tres_120_1.4

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8106	1949	18.3	108 ($\sigma = 8.8$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9787	1949	18.4	107.9 ($\sigma = 8.9$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0777	2060	19.4	108 ($\sigma = 8.8$)	33 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0252	2967	28.5	106.2 ($\sigma = 8.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5127	3015	29	105.9 ($\sigma = 8.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6378	2886	27.7	106.1 ($\sigma = 8.2$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3383	3839	37.7	103.7 ($\sigma = 7.7$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5237	3939	38.9	103 ($\sigma = 7.7$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1046	3986	39.1	103.5 ($\sigma = 7.5$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 5000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8395	4869	49.5	99.9 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3675	4926	50.1	99.8 ($\sigma = 6.9$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9103	4800	48.9	100.1 ($\sigma = 7$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 7952	5800	64.4	91.9 ($\sigma = 6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9780	5785	63.2	93.2 ($\sigma = 6$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8261	5908	65.4	91.8 ($\sigma = 5.2$)	39 " ($\sigma = 2$)

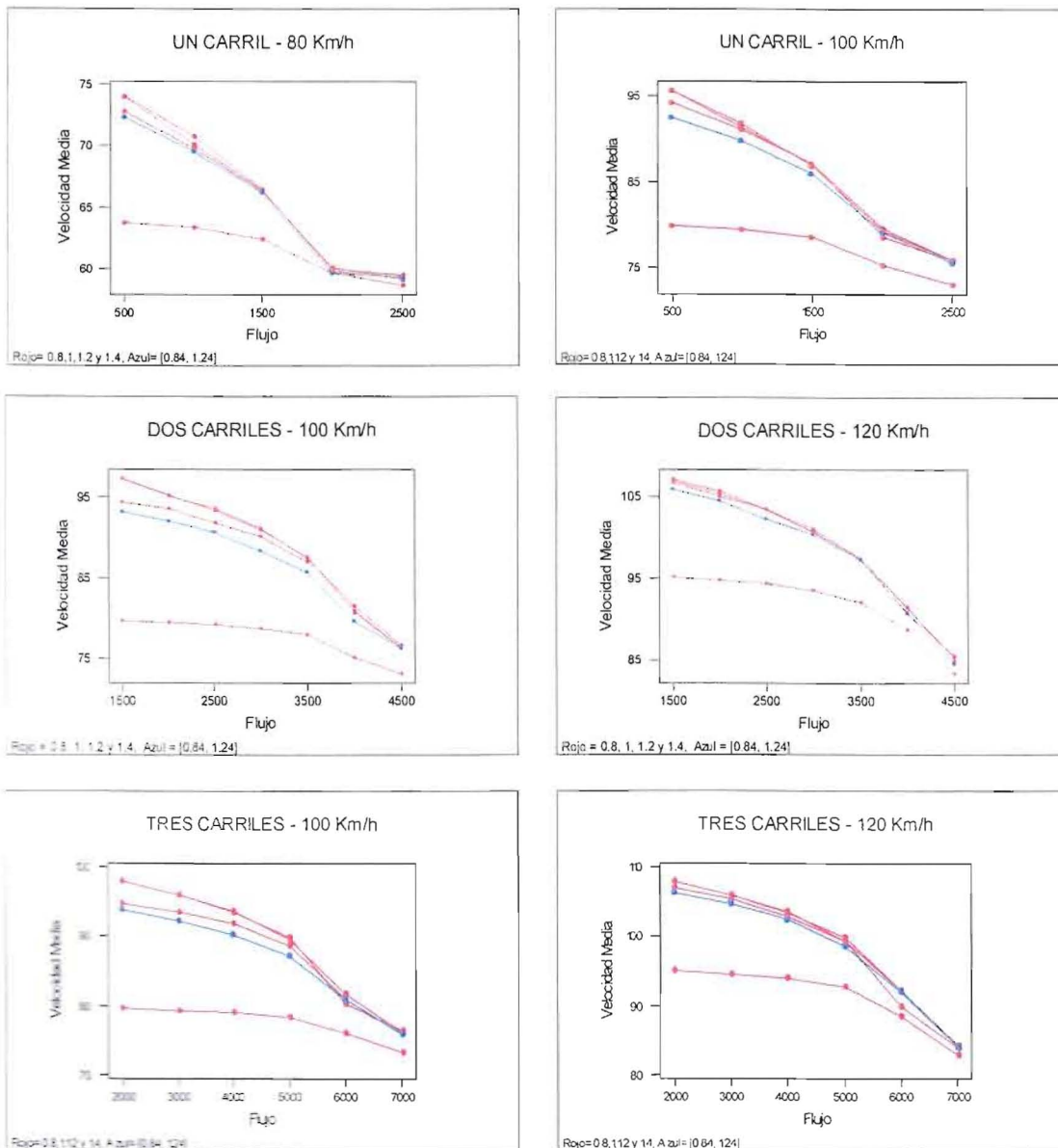
⊕ Flujo 7000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4514	6172	74.7	84.3 ($\sigma = 3$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 0202	6164	74.7	84.2 ($\sigma = 3.3$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3307	6180	75	84 ($\sigma = 2.8$)	42 " ($\sigma = 1$)

SIMULACIÓN DEL SPEED ACCEPTANCE EN CONDICIONES NORMALES

En condiciones normales es de esperar que haya cierta variabilidad en el nivel de aceptación de la velocidad máxima, ya que no todos los conductores se comportan de la misma manera. Por eso hemos querido reflejar el nivel de aceptación de la V_{max} como una variable aleatoria que sigue una distribución normal de media 1 y de desviación 0.08 ($\theta \sim N(1, 0.08) \in [0.84, 1.24]$).

Si representamos gráficamente los resultados obtenidos y los comparamos con los mostrados anteriormente en los niveles 0.8, 1, 1.2 y 1.4, se observa lo que se muestra a continuación:



Podemos decir que las velocidades medias de los vehículos se parecen a las observadas con el nivel de aceptación igual a 1, lo que era de esperar ya que la media definida de la distribución de θ es ésta.

En los gráficos se observa claramente que al ir aumentando el flujo la velocidad media de circulación disminuye, dándose los mayores decrementos cuando nos acercamos a la capacidad máxima de la vía.

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN CUANDO θ SIGUE UNA NORMAL

UN CARRIL

$Un_{80_\theta} \sim N(1,0.08)$

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6074	494	6.9	72 ($\sigma = 5.6$)	50" ($\sigma = 3$)
Seed : 0253	500	6.9	72.7 ($\sigma = 5.2$)	49" ($\sigma = 3$)
Seed : 9872	508	7	72.3 ($\sigma = 5.5$)	50" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 8604	983	14.1	69.7 ($\sigma = 4.6$)	51" ($\sigma = 3$)
Seed : 4736	977	14.2	69.4 ($\sigma = 4.6$)	52" ($\sigma = 3$)
Seed : 4611	970	14	69.6 ($\sigma = 4.4$)	51" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 5409	1429	21.8	65.8 ($\sigma = 3.9$)	54" ($\sigma = 3$)
Seed : 0145	1437	21.4	67 ($\sigma = 3.6$)	53" ($\sigma = 2$)
Seed : 9650	1525	23	66 ($\sigma = 3.9$)	54" ($\sigma = 3$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 0625	1944	32.5	60 ($\sigma = 2.1$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 7091	1954	32	59.3 ($\sigma = 1.5$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 1514	1959	32.9	59.6 ($\sigma = 1.5$)	1' ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2233	1954	33.1	59.1 ($\sigma = 1$)	1' ($\sigma = 0$)
Seed : 0419	1954	32.9	59.6 ($\sigma = 1.7$)	1' ($\sigma = 1$)
Seed : 2322	1956	33.1	59.1 ($\sigma = 1.2$)	1' ($\sigma = 1$)

Un_100_N(1,0.08)

⊕ Flujo 500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 6668	529	5.7	91.8 ($\sigma = 5.9$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4435	468	5	93.1 ($\sigma = 6.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3500	496	5.3	93.8 ($\sigma = 5.4$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4089	992	11	89.6 ($\sigma = 5.4$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2896	960	10.6	90 ($\sigma = 4.9$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9466	990	11	89.8 ($\sigma = 5.5$)	40 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3435	1524	17.6	85.8 ($\sigma = 4.5$)	42 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5932	1554	18	86.1 ($\sigma = 5$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0607	1479	17	86 ($\sigma = 4.8$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 1689	2022	26.3	76.9 ($\sigma = 3.7$)	46 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6359	1987	25.3	78.6 ($\sigma = 4.3$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2265	1906	23.2	81.9 ($\sigma = 4.2$)	44 " ($\sigma = 1$)

⊕ Flujo 2500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3550	2060	27.2	75.8 ($\sigma = 2.3$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 8399	2069	27.3	75.5 ($\sigma = 1.7$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 1558	2064	27.4	75.2 ($\sigma = 1.5$)	47 " ($\sigma = 0$)

DOS CARRILES

Dos_100_ N(1,0.08)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 2972	1468	15.6	93.2 ($\sigma = 5.9$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6656	1577	16.7	93.3 ($\sigma = 6$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4626	1508	16.1	93.2 ($\sigma = 5.8$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

Seed : 6162	1990	21.4	91.9 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1445	1967	21.1	92.4 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1787	1984	21.4	91.9 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

Seed : 2809	2410	26.3	90.8 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8209	2497	27.4	90.6 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5661	2436	26.7	90.9 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

Seed : 8753	3028	34.3	88.1 ($\sigma = 5$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5602	2980	33.4	88.6 ($\sigma = 5$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9712	3076	34.6	88.4 ($\sigma = 5$)	40 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

Seed : 9686	3458	40.2	85.9 ($\sigma = 5.2$)	42 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0829	3486	40.7	85.4 ($\sigma = 4.9$)	42 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3315	3476	40.2	85.8 ($\sigma = 4.8$)	42 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

Seed : 5466	4055	51.3	78.8 ($\sigma = 3.8$)	45 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2510	4055	52.3	77.5 ($\sigma = 3.7$)	46 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3084	3835	46.2	82.5 ($\sigma = 4.4$)	43 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

Seed : 9386	4116	53.7	76.6 ($\sigma = 2.5$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 6296	4109	53.8	76.3 ($\sigma = 2.7$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 3487	4117	54.2	75.8 ($\sigma = 2.4$)	47 " ($\sigma = 1$)

Dos_120_N(1,0.08)

⊕ Flujo 1500

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 4838	1464	13.7	105.8 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 7252	1471	13.8	105.7 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9602	1539	14.4	106.2 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2000

Seed : 7077	2028	19.3	104.3 ($\sigma = 6.9$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6247	1997	18.9	104.6 ($\sigma = 6.7$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8449	2003	19	104.6 ($\sigma = 6.9$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 2500

Seed : 4275	2567	24.9	102 ($\sigma = 6.5$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0035	2539	24.6	102.5 ($\sigma = 6.4$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9688	2557	24.8	102.5 ($\sigma = 6.4$)	35 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

Seed : 2318	3001	29.8	100.4 ($\sigma = 6$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 9934	2947	29	100.6 ($\sigma = 6.3$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2522	3009	29.8	100.2 ($\sigma = 6.3$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3500

Seed : 5909	3549	36.4	96.9 ($\sigma = 5.9$)	37 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0608	3466	35.2	97.8 ($\sigma = 5.9$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5730	3547	36.2	97.1 ($\sigma = 6.2$)	37 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

Seed : 3200	4060	44.7	90.3 ($\sigma = 4.5$)	39 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4608	3964	43.1	91.4 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4416	4005	43.9	90.8 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4500

Seed : 2942	4201	49.7	84.3 ($\sigma = 2.3$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 1613	4193	49.2	85 ($\sigma = 2.8$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4585	4199	49.7	84.3 ($\sigma = 2.6$)	42 " ($\sigma = 1$)

TRES CARRILES

Tres_100_ N(1,0.08)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3312	2036	21.5	93.8 ($\sigma = 6.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8562	1943	20.6	93.7 ($\sigma = 6.2$)	38 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0382	1967	20.8	93.8 ($\sigma = 6.5$)	38 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

Seed : 7931	3023	32.5	92.3 ($\sigma = 5.9$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6675	2951	31.8	92.3 ($\sigma = 6.1$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 6719	2936	31.7	92.3 ($\sigma = 6.1$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

Seed : 0772	3873	42.6	90.2 ($\sigma = 5.8$)	40 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3399	3998	44	90.5 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 5502	4099	45.2	90.1 ($\sigma = 5.8$)	40 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 5000

Seed : 1427	4973	56.5	87.2 ($\sigma = 5.3$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 1680	5049	57.6	87 ($\sigma = 5.3$)	41 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0852	4931	56	87.4 ($\sigma = 5.3$)	41 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

Seed : 9801	5977	73.9	80.8 ($\sigma = 4.1$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2919	5904	71.8	81.7 ($\sigma = 4.5$)	44 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8972	5946	73.6	80.5 ($\sigma = 4.6$)	44 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

Seed : 7285	6162	81.4	75.6 ($\sigma = 2$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 4720	6159	81.1	75.9 ($\sigma = 2.7$)	47 " ($\sigma = 1$)
Seed : 5222	6171	81.2	75.9 ($\sigma = 2.3$)	47 " ($\sigma = 1$)

Tres_120_N(1,0.08)

⊕ Flujo 2000

	<u>Flow (veh/h)</u>	<u>Density (veh/Km)</u>	<u>Speed (Km/h)</u>	<u>Travel Time</u>
Seed : 3980	1974	18.9	106.5 ($\sigma = 7.6$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0074	1972	18.8	106.6 ($\sigma = 7.5$)	33 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3245	2069	19.8	106 ($\sigma = 7.3$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 3000

Seed : 3315	3031	29.3	104.8 ($\sigma = 7.1$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4738	2959	28.7	104.5 ($\sigma = 7.3$)	34 " ($\sigma = 2$)
Seed : 0985	2908	28.1	104.8 ($\sigma = 7.2$)	34 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 4000

Seed : 9674	3949	39.1	102.4 ($\sigma = 6.7$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3792	3940	39	102.7 ($\sigma = 7.1$)	35 " ($\sigma = 2$)
Seed : 3270	3955	39.2	102.4 ($\sigma = 6.9$)	35 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 5000

Seed : 7045	4961	51.2	98.6 ($\sigma = 6.4$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2980	5000	51.6	98.4 ($\sigma = 6.2$)	36 " ($\sigma = 2$)
Seed : 4363	4908	50.4	99 ($\sigma = 6.2$)	36 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 6000

Seed : 0431	5869	64.5	92.5 ($\sigma = 5.3$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 2994	5886	65.8	91.5 ($\sigma = 5.7$)	39 " ($\sigma = 2$)
Seed : 8792	5812	64.3	92 ($\sigma = 5.6$)	39 " ($\sigma = 2$)

⊕ Flujo 7000

Seed : 6138	6179	74.8	84.3 ($\sigma = 2.7$)	42 " ($\sigma = 1$)
Seed : 9012	6182	75.4	83.6 ($\sigma = 2.6$)	43 " ($\sigma = 1$)
Seed : 5756	6177	75	84 ($\sigma = 2.8$)	42 " ($\sigma = 1$)

VALORES MEDIOS :

Nº de Carriles	Flujo teórico	V _{max} = 80				V _{max} = 100			
		Flujo	Densidad	V _{media}	σ	Flujo	Densidad	V _{media}	σ
1	500	501	6.9	72.3	5.2	498	5.33	92.6	5.8
	1000	977	14.1	69.6	4.5	981	10.9	89.8	5.3
	1500	1464	22.1	66.3	3.8	1519	17.3	86.0	4.7
	2000	1952	32.8	59.6	1.7	1972	24.9	79.1	4.1
	2500	1955	33.0	59.2	1.3	2064	27.3	75.5	1.8

Nº de Carriles	Flujo teórico	V _{max} = 100				V _{max} = 120			
		Flujo	Densidad	V _{media}	σ	Flujo	Densidad	V _{media}	σ
2	1500	1518	16.1	93.2	5.8	1491	14.0	105.9	7.1
	2000	1980	21.3	92.1	5.6	2009	19.1	104.5	6.8
	2500	2448	26.8	90.8	5.3	2554	24.8	102.3	6.4
	3000	3028	34.1	88.4	5.0	2986	29.5	100.4	6.2
	3500	3473	40.4	85.7	5.0	3521	35.9	97.3	6.0
	4000	3982	49.9	79.6	4.0	4010	43.9	90.8	5.0
	4500	4114	53.9	76.2	2.5	4198	49.5	84.5	2.6

Nº de Carriles	Flujo teórico	V _{max} = 100				V _{max} = 120			
		Flujo	Densidad	V _{media}	σ	Flujo	Densidad	V _{media}	σ
3	2000	1982	21.0	93.8	6.3	2005	19.2	106.4	7.5
	3000	2970	32.0	92.3	6.0	2966	28.7	104.7	7.2
	4000	3990	43.9	90.3	5.7	3948	39.1	102.5	6.9
	5000	4984	56.7	87.2	5.3	4956	51.1	98.7	6.3
	6000	5942	73.1	81.0	4.4	5856	64.9	92.0	5.5
	7000	6164	81.2	75.8	2.3	6179	75.1	84.0	2.7

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN (con V_a constante)

Un carril_120

Flujo	0.8				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V_{media}	σ
500	9215	512	5.6	92.8	3.8
	2154	503	5.6	91.9	4.6
	788	489	5.4	91.8	4.7
1000	5251	993	11.2	90.1	4.9
	4701	1015	11.4	90.5	4.4
	33	993	11.1	90.1	5.0
1500	6234	1459	16.9	87.6	4.8
	1123	1480	17.3	87.1	4.8
	456	1501	17.6	86.8	5.1
2000	1663	1972	25.2	80.0	4.0
	3811	1957	25.1	79.8	4.4
	2188	2023	27.2	75.9	2.2

Flujo	1				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V_{media}	σ
500	901	479	5.1	96.2	7.6
	3166	489	5.3	94.6	8.3
	870	482	5.2	95.4	7.9
1000	7854	979	11.0	90.4	6.7
	4960	973	10.8	92.0	6.7
	9999	993	11.1	90.9	6.3
1500	8011	1471	17.1	87.3	5.6
	250	1506	17.5	87.4	5.6
	3540	1576	18.7	85.5	5.2
2000	7624	1949	25.0	79.3	5.1
	5000	1989	26.1	78.0	4.2
	1990	1995	26.3	77.3	3.2

Flujo	1.2				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V_{media}	σ
500	5521	510	5.4	95.8	7.7
	289	500	5.4	95.1	7.3
	5056	504	5.4	94.8	8.1
1000	6662	964	10.7	91.9	6.6
	2849	983	10.9	91.4	6.4
	3000	1011	11.3	91.5	6.8
1500	2588	1988	17.2	87.9	5.7
	9064	1478	17.2	87.3	5.5
	525	1478	17.3	86.7	6.0
2000	676	1952	24.8	80.1	4.1
	5123	1984	26.1	77.3	4.3
	9	1977	25.8	78.4	3.8

Flujo	1.4				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V_{media}	σ
500	81	508	5.4	95.5	7.4
	721	528	5.6	95.6	7.4
	3487	491	5.2	95.7	7.4
1000	6644	982	10.9	92.0	6.5
	7700	970	10.8	91.5	6.4
	459	983	10.9	91.5	6.7
1500	6065	1477	17.2	86.8	5.2
	2412	1487	17.3	87.7	5.8
	90	1489	17.4	87.2	5.7
2000	904	1931	24.7	79.7	4.9
	6808	1989	26.5	76.9	3.9
	7502	2004	26.4	77.6	3.6

Dos carriles_120

Flujo	0									
	0.8					1				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ
500	9830	510	5.3	93.6	3.8	604	468	4.7	100.0	9.3
	3611	485	5.2	93.8	3.7	1286	466	4.6	99.6	9.1
	1452	504	5.3	93.9	3.5	7371	538	5.4	98.9	8.9
1000	225	950	10.1	93.1	3.7	5919	988	10.1	98.2	8.4
	5693	1002	10.7	93.3	3.7	2643	1026	10.4	98.2	8.4
	4176	1023	10.9	92.9	3.9	2532	979	9.9	98.8	8.3
1500	7610	1567	16.8	92.3	4.0	251	1516	15.8	97.0	7.7
	1269	1534	16.5	92.3	4.0	4410	1525	15.6	97.1	7.7
	8058	1492	16.0	92.5	3.9	1027	1532	15.8	96.9	7.7
2000	7061	1931	20.9	91.9	4.0	4591	1982	20.5	95.8	7.2
	2678	2010	21.8	91.6	4.1	5478	1987	20.8	95.4	7.4
	5529	2000	21.6	91.7	4.1	2964	2010	21.0	95.1	7.3
2500	1014	2450	26.7	91.0	4.1	5874	2589	27.6	93.3	6.7
	4620	2486	27.2	90.6	4.2	2362	2518	26.8	93.5	6.5
	3132	2581	28.3	90.4	4.3	2019	2454	26.0	93.9	6.8
3000	2220	3091	34.6	88.8	4.7	7259	2961	32.2	91.4	6.1
	1811	2974	33.2	89.2	4.4	2382	3052	33.6	90.3	6.2
	785	2941	32.7	89.3	4.3	1456	3051	33.3	90.7	6.0
3500	109	3435	39.2	87.0	4.8	9621	3421	38.9	87.5	5.9
	8753	3437	39.5	86.5	4.9	6481	3441	38.3	87.1	5.9
	9028	3471	39.9	86.5	4.9	2030	3549	40.3	87.5	6.1
4000	4933	3993	49.8	80.2	4.4	1949	3983	49.5	80.5	5.2
	3628	3963	48.6	81.2	4.6	5342	3985	49.8	80.1	5.3
	7060	4078	52.2	78.0	3.6	8023	4029	50.5	79.9	4.7
4500	976	4119	54.1	76.0	2.4	2817	4124	54.0	76.2	2.8
	2061	4120	54.1	76.0	2.3	7053	4124	54.2	76.0	2.4
	4198	4118	54.2	75.9	2.2	3488	4123	54.0	76.2	2.8

Flujo	1.2					1.4				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ
	500	7368	489	4.9	99.5	9.2	2730	547	5.5	99.3
3192		488	4.9	99.2	9.1	5011	511	5.1	99.4	9.4
1803		493	4.9	99.9	9.0	83	489	4.9	99.3	9.1
1000	16	993	10.0	98.5	8.5	4036	973	9.8	98.6	8.6
	9420	1016	10.3	97.9	8.3	9000	970	9.8	98.6	8.7
	8346	1033	10.4	98.9	8.5	1534	1005	10.2	98.6	8.5
1500	2159	1437	14.7	97.8	8.1	6553	1499	15.4	96.8	8.1
	1259	1488	15.3	96.7	8.0	9888	1518	15.7	96.9	8.0
	8942	1526	15.6	96.8	7.7	3874	1527	15.7	96.9	7.9
2000	5108	1979	20.6	95.7	7.3	2690	1992	20.7	95.5	7.5
	5924	1974	20.7	95.3	7.3	9522	2039	21.3	95.1	7.4
	8487	2013	21.1	95.3	7.3	3604	2018	21.1	94.9	7.3
2500	1594	2443	26.0	93.5	6.8	4416	2427	25.8	93.8	7.0
	6738	2495	26.7	93.2	6.8	8821	2561	27.2	93.3	6.6
	2953	2456	26.3	93.2	7.0	3927	2520	26.7	93.6	6.8
3000	3992	3015	32.9	90.8	6.6	183	2995	32.6	91.4	6.3
	6400	2969	32.3	91.4	6.3	3056	2985	32.7	90.6	6.0
	1008	2977	32.6	90.9	6.7	7175	2995	32.8	90.8	6.3
3500	7381	3583	41.0	87.0	5.8	9442	3476	39.5	87.5	6.1
	926	3463	39.1	88.0	6.1	2067	3582	41.2	86.6	5.6
	3865	3513	40.0	87.3	5.6	865	3472	39.6	87.5	5.7
4000	6827	3999	49.2	81.3	4.8	1495	3973	48.5	81.6	4.9
	9003	4082	51.8	78.3	3.7	5388	4045	51.3	78.6	4.4
	2711	4013	51.1	78.5	5.4	4805	4013	50.6	79.1	4.9
4500	1026	4124	54.2	76.0	1.8	8193	4119	54.0	76.1	2.4
	5673	4116	53.7	76.6	2.6	8907	4112	53.7	76.5	2.8
	7328	4096	53.0	77.2	3.4	3276	4118	53.8	76.5	2.7

Tres carriles_100

Flujo	θ									
	0.8					1				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	Vmedia	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	Vmedia	σ
500	7334	520	6.5	79.9	0.3	936	484	5	95.9	5.2
	3978	500	6.2	79.9	0.3	5460	461	4.8	96.3	4.9
	5436	491	6.1	79.9	0.4	1208	475	4.9	96.1	5.2
1000	9190	997	12.4	79.8	0.4	2207	951	9.9	95.5	5.2
	3698	965	12.0	79.8	0.4	8312	1006	10.4	95.7	5
	2099	965	12.1	79.7	0.4	9063	981	10.1	95.9	5.1
1500	4912	1516	18.8	79.6	0.5	1160	1505	15.8	95.1	5.2
	8418	1499	18.7	79.6	0.6	7534	1514	15.7	95.3	5.1
	2703	1411	17.5	79.7	0.5	9023	1472	15.3	95.3	5
2500	4618	2412	30.2	79.4	0.8	6467	2516	26.5	94.1	5.3
	7227	2477	30.9	79.4	0.7	7195	2458	25.8	94	5.3
	7186	2531	31.7	79.4	0.8	5349	2469	26.1	94.1	5.4
3500	4062	3452	43.2	79.2	1.0	4833	3517	37.7	92.7	5.5
	5107	3446	43.1	79.2	1.0	1213	3556	38.1	92.6	5.5
	2749	3521	44.1	79.1	1.1	6528	3511	37.5	92.8	5.5
4500	730	4429	56.0	78.7	1.3	2957	4434	48.5	90.6	5.6
	2068	4472	56.4	78.8	1.2	9437	4552	49.8	90.6	5.6
	6221	4545	57.3	78.7	1.3	6045	4475	48.9	90.6	5.6
5500	7562	5487	70.4	77.5	1.6	762	5446	62.7	86.5	5.7
	1526	5427	69.5	77.7	1.6	8640	5416	61.9	86.9	5.4
	8061	5416	69.5	77.6	1.6	9520	5461	63	86.5	5.5

Flujo	θ									
	1.2					1.4				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	Vmedia	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	Vmedia	σ
500	8190	470	4.7	100.1	9.5	7525	511	5.1	99.5	8.9
	1593	510	5.1	100.2	8.9	2254	519	5.2	100.1	9.2
	3510	478	4.8	100.1	9.3	6905	481	4.8	100.2	8.9
1000	9391	976	9.8	99.0	8.8	3693	1002	10.1	99.2	9.0
	4068	1070	10.7	99.2	6.6	2100	974	9.7	99.5	8.9
	2256	1031	10.3	98.9	8.7	6075	1040	10.3	99.9	9.0
1500	9727	1557	15.7	99.0	8.7	888	1491	15.0	98.8	8.7
	2547	1544	15.5	98.8	8.4	1956	1536	15.4	99.0	8.9
	7101	1536	15.5	98.6	8.5	4432	1452	14.6	98.9	8.8
2500	8298	2505	25.5	97.4	8.0	3102	2503	25.7	97.1	8.3
	684	2513	25.9	96.6	8.0	9076	2449	25.2	96.9	8.3
	5772	2524	25.8	97.2	8.3	18	2569	26.2	97.3	8.3
3500	1267	3494	36.6	94.9	7.8	6501	3448	36.0	95.0	7.7
	4906	3479	36.6	94.7	7.9	7882	3477	36.5	94.8	7.6
	1493	3491	36.7	94.8	7.5	7510	3521	36.8	95.1	7.7
4500	654	4513	48.8	91.9	6.9	100	4483	48.3	92.1	7.0
	4973	4433	47.7	92.5	7.1	6587	4465	48.0	92.3	6.9
	7906	4490	48.4	92.0	7.0	7690	4502	48.8	91.7	6.8
5500	1372	5423	62.1	86.3	6.4	7700	5515	63.4	86.8	6.0
	4633	5472	62.7	86.9	6.0	1244	5499	63.1	86.8	6.1
	2564	5434	61.8	87.4	6.0	4981	5452	62.2	87.1	6.0

Tres carriles_120

Flujo	θ									
	0.8					1				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ
500	5087	482	5.2	93.8	3.8	6520	494	5.0	100.6	9.1
	2642	491	5.3	93.8	3.7	3407	452	4.6	100.4	8.8
	680	523	5.7	93.6	3.6	780	496	5.1	99.5	8.9
1000	4046	968	10.5	93.3	3.9	9486	987	10.1	99.7	9.1
	2025	979	10.6	93.5	3.7	8100	965	9.9	99.5	8.8
	8484	997	10.8	93.5	3.6	4877	1002	10.3	99.5	9.0
1500	6266	1483	16.2	92.9	3.8	4024	1500	15.5	98.4	8.6
	8555	1486	16.2	93.1	3.7	5750	1496	15.4	98.8	8.7
	7099	1484	16.1	93.1	3.8	3896	1490	15.4	98.6	8.8
2000	256	1971	21.6	92.6	3.8	2505	2134	22.2	97.7	8.4
	7800	1975	21.6	92.7	3.9	7068	1931	20.1	98.0	8.4
	9559	1992	21.8	92.7	3.8	4732	1958	20.5	97.9	8.8
2500	7604	2532	27.9	92.0	4.1	2025	2424	25.4	97.5	8.3
	6655	2423	26.7	92.0	4.1	8097	2469	25.9	97.1	8.1
	4016	2441	26.9	92.2	4.0	3549	2440	25.7	96.9	8.2
3000	1	2977	33.0	91.6	4.2	8194	2957	31.3	96.0	8.0
	8642	2981	33.1	91.5	4.1	9002	2947	31.2	96.1	7.9
	1480	3069	34.0	91.5	4.2	4319	3025	32.1	96.3	8.0
3500	7433	3433	38.4	90.8	4.6	6011	3428	36.8	95.1	7.8
	5007	3484	38.7	91.1	4.3	8750	3450	37.0	94.9	7.5
	6040	3480	38.9	90.8	4.4	1013	3559	38.3	94.6	7.7
4000	56	3924	44.2	90.2	4.5	9076	3883	42.3	93.3	7.3
	862	3940	44.3	90.4	4.4	1839	4023	44.0	93.2	7.2
	8790	3960	44.7	90.0	4.6	8012	3940	42.8	93.5	7.2
4500	7096	4456	51.0	89.1	4.7	7869	4487	49.8	91.6	6.8
	6850	4510	51.4	89.0	4.7	464	4522	50.3	91.4	6.8
	2156	4516	51.5	89.0	4.7	3774	4409	48.8	92.1	7.0
5000	1000	4940	57.4	87.3	5.0	7169	4906	55.5	89.9	6.7
	1012	4875	56.3	88.1	4.7	4880	4957	56.5	89.4	6.7
	7679	4927	57.2	87.6	4.9	499	4874	55.2	90.0	6.4
5500	1014	5316	62.6	86.3	4.9	6942	5401	63.7	86.5	6.2
	3615	5345	63.4	86.0	5.1	4865	5489	65.2	85.8	5.8
	2214	5378	63.9	85.7	4.9	2370	5368	63.0	86.8	6.3
6000	4216	5810	72.4	81.5	5.2	6708	5860	73.8	81.0	5.4
	6500	5996	78.5	78.0	4.2	5556	5924	76.2	79.8	5.0
	430	5919	76.3	79.2	4.7	5914	5872	73.5	81.5	5.3
7000	1258	6056	81.8	75.5	2.3	2300	6059	81.5	75.9	2.6
	4875	6054	81.5	75.8	2.5	2876	6059	81.6	75.6	2.6
	7955	6050	81.6	75.8	2.5	9626	60369	81.4	76.1	2.5

Flujo	1.2										1.4									
	0.8					1					0.8					1				
	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ	Seed	Flujo simulado	Densidad	V _{media}	σ
500	5076	536	5.5	99.7	9.6	3161	468	4.8	100.4	9.2	2387	489	4.9	100.5	8.7	8674	491	5.0	100.6	9.3
	4886	480	4.9	100.1	9.5	5893	554	5.7	99.7	9.3	4886	480	4.9	100.1	9.5	5893	554	5.7	99.7	9.3
	7005	1019	10.5	99.4	9.3	4223	995	10.2	99.5	9.1	3655	978	10.0	99.8	9.2	2296	987	10.2	98.9	9.1
1000	8400	988	10.2	99.2	9.2	8737	1006	10.3	99.8	8.9	8400	988	10.2	99.2	9.2	8737	1006	10.3	99.8	8.9
	403	1459	15.1	98.9	8.9	1569	1469	15.1	98.7	8.7	1211	1492	15.4	98.8	8.6	5891	1465	15.2	98.7	8.7
	8844	1490	15.4	99.1	9.0	7099	1484	15.2	99.2	8.7	1001	2026	21.1	97.7	8.5	4632	1974	20.5	98.2	8.7
2000	2530	1990	20.8	97.9	8.6	6300	2023	21.0	98.3	8.6	5075	1967	20.5	98.3	8.5	8937	1992	20.6	98.2	8.8
	8796	2490	26.2	96.9	8.2	7229	2501	26.2	97.1	8.3	2210	2470	25.9	97.0	8.2	4989	2529	26.5	97.2	8.2
	2021	2503	26.3	97.0	8.0	3317	2495	26.2	97.2	8.1	6819	2940	31.2	96.0	8.1	317	3012	31.9	96.0	8.0
3000	9452	2978	31.6	96.0	7.7	8192	2936	31.1	96.3	8.1	36	2978	31.3	96.1	8.0	9581	2995	31.7	96.4	8.1
	1824	3467	37.2	94.8	7.8	560	3504	37.8	94.5	7.7	4378	3459	37.0	95.1	7.7	3888	3504	37.8	94.8	7.6
	90	3511	37.6	94.8	7.8	5995	3461	37.2	94.8	7.5	3317	4027	43.9	93.2	7.2	6700	3939	42.9	93.5	7.3
4000	7133	3993	43.5	93.4	7.2	8443	3929	42.7	93.9	7.5	3123	3949	43.1	93.3	7.3	664	3950	43.3	93.1	7.4
	6522	4445	49.2	91.9	6.8	2225	4457	49.5	91.9	6.8	1468	4513	50.0	91.9	6.8	5475	4461	49.8	91.3	7.1
	969	4448	49.5	91.7	6.9	9967	4498	49.9	91.7	6.9	2401	4997	57.0	89.2	6.6	1468	4965	56.3	89.8	6.2
5000	6576	4956	56.2	89.7	6.5	5787	4990	57.2	89.2	6.8	8021	4920	55.6	89.8	6.5	6878	4901	55.4	89.9	6.6
	29	5392	63.4	86.5	6.3	1096	5439	64.3	86.2	6.2	9004	5490	65.1	85.8	6.1	4417	5582	66.4	85.6	5.6
	9015	5400	63.4	86.6	6.0	6512	5331	62.4	87.1	6.1	3515	5831	72.3	82.4	5.2	2411	5872	74.5	80.6	5.2
6000	4258	5864	73.8	80.9	5.5	6683	5897	74.9	80.6	5.3	7885	5837	72.7	81.8	5.1	99	5879	73.7	81.4	5.1
	756	6066	81.2	76.2	2.8	7891	6049	81.8	75.5	2.8	345	6061	81.4	76.0	2.7	9152	6061	81.2	76.2	2.7
	4568	6067	81.2	76.3	2.8	2276	6044	80.8	76.3	3.3										

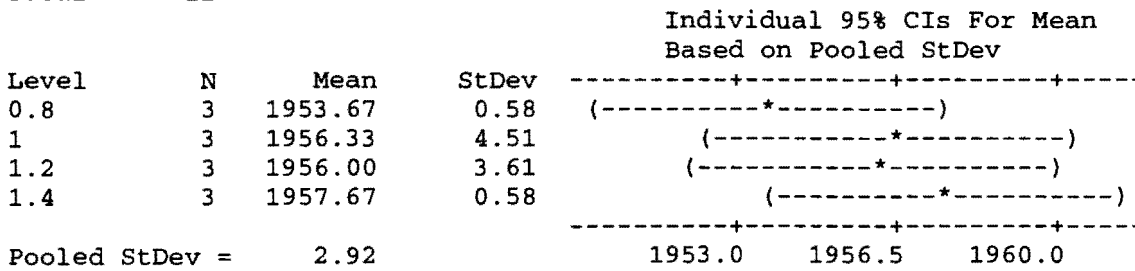
CONTRASTES DE HIPÓTESIS

1A) Un carril y $V_{max} = 80$ km/h

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	3	24.92	8.31	0.98	0.450
Error	8	68.00	8.50		
Total	11	92.92			



Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	3	1954	4.0	-1.39
2	3	1956	6.5	0.00
3	3	1957	6.7	0.09
4	3	1958	8.8	1.29
OVERALL	12		6.5	

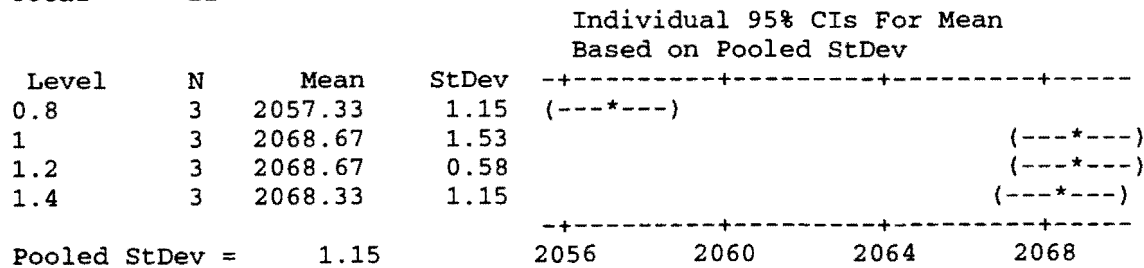
H = 2.71 d.f. = 3 p = **0.440**
H = 2.74 d.f. = 3 p = 0.433 (adjusted for ties)

1B) Un carril y $V_{max} = 100$ km/h

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	3	283.59	94.53	70.90	0.000
Error	8	10.67	1.33		
Total	11	294.26			



Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	3	2058	2.0	-2.50
2	3	2069	8.5	1.11
3	3	2069	8.0	0.83
4	3	2069	7.5	0.55
OVERALL	12		6.5	

H = 6.35 d.f. = 3 p = 0.097
 H = 6.87 d.f. = 3 p = 0.077 (adjusted for ties)

El test Anova rechaza que la capacidad máxima en todos los niveles sea la misma, mientras que el test Kruskal las considera iguales. Como se contradicen incrementamos hasta seis el número de réplicas y repetimos ambas pruebas.

θ	Experimentos iniciales		Experimentos nuevos	
	Seed	Flujo	Seed	Flujo
0.8	3230	2056	2902	2056
	6065	2058	5951	2055
	7589	2058	0278	2055
1	6690	2067	8009	2066
	0013	2070	3711	2069
	4158	2069	7643	2066
1.2	8591	2069	6324	2067
	6369	2068	1279	2066
	4422	2069	6291	2068
1.4	7874	2067	8806	2066
	8523	2069	0017	2068
	4145	2069	7831	2067

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	3	589.51	196.50	102.52	0.000
Error	20	38.33	1.92		
Total	23	627.84			

Individual 95% CIs For Mean
 Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
0.8	6	2056.33	1.37	(--*--)			
1	6	2067.83	1.72				
1.20	6	2067.83	1.17				
1.4	6	2067.67	1.21				
Pooled StDev = 1.38				-----+-----+-----+-----+-----			
				2056	2060	2064	2068

Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	6	2056	3.5	-3.60
2	6	2068	15.7	1.30
3	6	2068	15.7	1.27
4	6	2068	15.1	1.03
OVERALL	24		12.5	

H = 12.99 d.f. = 3 p = **0.005**
 H = 13.35 d.f. = 3 p = 0.004 (adjusted for ties)

Ahora ambas pruebas rechazan la hipótesis nula. Si nos fijamos en el gráfico del test Anova, la capacidad máxima en el nivel 0.8 es inferior a la del resto de los niveles, que por cierto pueden considerarse iguales.

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	2	0.11	0.06	0.03	0.972
Error	15	29.00	1.93		
Total	17	29.11			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
1	6	2067.83	1.72	(-----*-----)	(-----*-----)
1.2	6	2067.83	1.17	(-----*-----)	(-----*-----)
1.4	6	2067.67	1.21	(-----*-----)	(-----*-----)
Pooled StDev = 1.39				2067.1	2067.8 2068.5

Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	6	2068	9.8	0.14
2	6	2068	9.7	0.09
3	6	2068	9.1	-0.23
OVERALL	18		9.5	

H = 0.06 d.f. = 2 p = **0.973**
 H = 0.06 d.f. = 2 p = 0.971 (adjusted for ties)

2A) Dos carriles y $V_{max} = 100$ km/h

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	3	121.0	40.3	1.04	0.426
Error	8	310.7	38.8		
Total	11	431.7			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
0.8	3	4112.67	1.15	4110.37	4114.97
1	3	4113.33	6.66	4100.01	4126.65
1.2	3	4116.67	10.41	4095.85	4137.49
1.4	3	4120.67	1.15	4118.37	4122.97

Pooled StDev = 6.23

Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	3	4112	4.0	-1.39
2	3	4115	5.0	-0.83
3	3	4120	7.3	0.46
4	3	4120	9.7	1.76
OVERALL	12		6.5	

H = 4.44 d.f. = 3 p = **0.219**
H = 4.51 d.f. = 3 p = 0.212 (adjusted for ties)

2B) Dos carriles y $V_{max} = 120$ km/h

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	3	28	9	0.07	0.972
Error	8	1019	127		
Total	11	1048			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
0.8	3	4187.0	11.0	4175.00	4199.00
1	3	4187.7	15.0	4167.70	4207.70
1.2	3	4190.0	9.8	4180.20	4199.80
1.4	3	4190.7	8.1	4182.60	4198.80

Pooled StDev = 11.3

Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	3	4187	5.8	-0.37
2	3	4189	6.7	0.09
3	3	4193	6.8	0.18
4	3	4186	6.7	0.09
OVERALL	12		6.5	

H = 0.14 d.f. = 3 p = **0.986**
H = 0.14 d.f. = 3 p = 0.986 (adjusted for ties)

3A) Tres carriles y $V_{max} = 100$ km/h

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	p
Factor	3	54.9	18.3	0.82	0.517
Error	8	178.0	22.2		
Total	11	232.9			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+			
0.8	3	6163.33	3.21	(-----*-----)			
1	3	6160.00	5.20	(-----*-----)			
1.2	3	6163.67	4.62	(-----*-----)			
1.4	3	6158.67	5.51	(-----*-----)			
Pooled StDev = 4.72				6155	6160	6165	6170

Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	3	6162	8.3	1.02
2	3	6157	5.7	-0.46
3	3	6161	8.0	0.83
4	3	6156	4.0	-1.39
OVERALL	12		6.5	

H = 2.90 d.f. = 3 p = **0.408**
H = 2.95 d.f. = 3 p = 0.400 (adjusted for ties)

3B) Tres carriles y $V_{max} = 120$ km/h

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	75.7	25.2	0.83	0.515
Error	8	244.0	30.5		
Total	11	319.7			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
0.8	3	6175.33	5.03	6165.25	6185.41
1	3	6177.33	5.51	6166.31	6188.35
1.2	3	6178.67	1.53	6175.61	6181.73
1.4	3	6172.00	8.00	6166.00	6178.00

Pooled StDev = 5.52

6168 6174 6180 6186

Kruskal-Wallis Test

LEVEL	NOBS	MEDIAN	AVE. RANK	Z VALUE
1	3	6176	5.7	-0.46
2	3	6177	7.3	0.46
3	3	6179	8.2	0.92
4	3	6172	4.8	-0.92
OVERALL	12		6.5	

H = 1.60 d.f. = 3 p = **0.659**
H = 1.64 d.f. = 3 p = 0.651 (adjusted for ties)

MODELO REDUCCIÓN DE VELOCIDAD

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Vel. Máx.	Tramo	Seed	4000				Seed	5000				Seed	6000			
			15'	30'	45'	60'		15'	30'	45'	60'		15'	30'	45'	60'
90	1	3802	100.1	100.9	100.8	101.1	229	95.5	96.0	96.1	96.4	8174	76.5	84.3	82.2	72.8
	2		100.3	101.9	101.8	102.0		97.2	98.4	98.3	98.7		82.0	89.4	91.2	84.4
	3		100.0	101.8	101.9	101.9		96.9	98.9	98.7	99.1		79.1	86.0	89.4	83.6
	4		98.5	100.8	101.1	100.9		94.6	95.9	96.8	96.7		75.7	81.2	83.9	79.1
	5		83.1	84.3	85.0	84.5		80.1	81.9	82.9	82.0		74.1	77.3	77.3	76.4
	6		97.8	99.0	99.2	99.0		95.5	96.7	97.0	97.3		89.2	93.1	93.1	92.2
	7		101.4	102.9	103.2	102.8		99.1	100.5	100.4	101.1		94.4	97.3	97.4	96.8
	Flujo simulado			4036				4976				5994				
	1	6658	99.9	99.3	100.7	100.8	3077	96.6	92.8	95.3	94.1	3074	76.3	62.8	69.0	82.9
	2		100.6	101.0	102.0	101.8		98.2	96.8	98.3	98.1		84.6	75.7	76.3	90.1
	3		100.0	101.2	102.1	101.7		98.3	96.8	98.9	98.5		83.3	76.7	76.3	87.2
	4		98.8	100.6	101.1	100.3		95.9	93.1	98.3	96.4		79.8	76.1	74.9	80.6
	5		82.8	84.7	84.6	84.9		81.2	80.6	81.6	82.1		75.3	76.1	75.3	78.9
	6		96.8	99.2	99.5	99.0		96.5	96.0	96.6	96.8		90.8	91.5	90.9	92.2
	7		101.1	103.0	103.3	103.0		99.4	100.1	100.2	100.4		95.3	96.1	96.4	96.8
Flujo simulado			4087				5040				6052					
1	7216	101.6	101.1	101.0	101.4	1628	97.3	96.9	96.4	93.5	2501	84.0	77.0	66.0	78.3	
2		101.5	102.4	102.5	102.3		98.4	99.3	99.6	97.6		91.7	85.7	76.8	85.8	
3		101.4	102.3	102.4	102.3		97.6	99.7	99.9	97.7		89.3	83.1	77.5	83.6	
4		100.7	101.6	101.3	101.0		94.2	97.7	97.9	94.5		81.9	79.4	76.3	79.6	
5		83.5	85.3	84.9	84.7		79.9	82.6	82.7	81.2		76.4	76.4	76.4	76.7	
6		97.6	99.5	99.7	99.5		95.6	97.4	97.8	96.4		92.2	91.9	91.4	92.2	
7		101.3	103.5	103.6	103.3		98.8	101.0	101.6	100.1		96.1	96.2	96.2	96.8	
Flujo simulado			3922				4933				5978					
60	1	4668	100.3	100.7	99.3	100.7	5843	97.8	96.7	94.2	95.2	2026	57.9	48.9	49.7	49.4
	2		100.3	102.0	100.9	102.0		98.8	99.0	97.5	97.9		62.8	55.1	55.0	54.7
	3		100.0	101.8	101.0	102.1		98.3	98.9	98.5	97.9		57.8	55.3	55.0	54.5
	4		93.5	95.3	93.5	95.1		86.7	86.4	83.0	81.0		52.4	52.4	52.4	51.9
	5		55.2	56.7	56.2	56.9		53.2	54.4	53.8	53.1		49.3	50.2	50.6	50.7
	6		90.9	92.6	92.2	93.0		89.9	91.7	91.3	90.9		87.8	89.3	89.5	89.8
	7		101.1	103.0	102.0	103.1		99.4	101.3	100.6	100.5		96.7	98.1	98.2	98.2
	Flujo simulado			4065				5014				5856				
	1	6878	100.9	100.2	100.6	98.6	6299	93.3	94.7	94.7	95.9	1789	64.8	49.1	49.9	50.0
	2		100.4	101.7	102.1	100.9		96.5	98.1	97.9	98.8		65.7	54.4	55.8	55.8
	3		100.0	101.5	102.2	101.3		95.2	98.2	97.6	98.7		60.1	54.6	55.5	55.2
	4		94.2	95.2	94.9	93.0		78.7	83.1	82.0	85.3		52.5	52.3	52.8	52.0
	5		55.4	56.7	56.4	56.4		52.0	53.7	53.6	54.4		49.3	50.5	50.6	50.6
	6		89.7	92.6	92.2	92.5		89.2	91.1	90.7	91.0		88.0	89.4	89.2	89.1
	7		100.6	102.5	102.4	102.5		98.5	100.5	100.1	100.6		97.2	98.1	98.1	97.6
Flujo simulado			4082				5098				5647					
1	96	101.4	99.8	102.5	100.3	1492	94.7	94.3	95.7	96.7	1898	64.2	49.0	50.1	49.3	
2		101.3	101.3	103.2	101.8		97.1	97.3	98.1	99.0		66.9	54.5	55.6	55.3	
3		100.7	101.2	103.2	102.2		96.4	96.9	98.3	99.0		58.6	54.8	54.7	54.9	
4		95.8	94.2	97.7	94.9		80.7	80.0	84.4	86.0		51.3	52.3	51.9	52.0	
5		55.5	56.3	57.4	56.6		52.2	53.3	53.8	54.1		49.2	49.9	50.1	50.0	
6		91.4	92.4	93.1	92.8		89.4	90.7	91.2	91.4		87.9	89.2	89.0	89.0	
7		101.6	102.4	103.6	103.0		98.6	100.0	100.9	101.2		96.7	98.1	97.6	97.6	
Flujo simulado			3926				5109				5647					
30	1	2023	101.2	101.3	101.3	101.9	6740	94.6	82.4	33.8	26.9	2584	59.7	26.0	25.9	26.6
	2		101.2	102.4	102.0	102.7		96.7	38.1	28.0	27.4		40.7	26.9	26.8	27.3
	3		101.5	102.1	102.2	102.9		76.1	28.3	27.8	27.4		29.9	27.0	26.8	27.1
	4		74.2	74.5	78.3	77.6		33.0	26.8	27.5	27.0		25.7	26.6	26.6	26.7
	5		25.6	27.1	27.0	27.1		24.1	25.2	25.3	25.2		24.1	25.5	25.2	24.8
	6		82.9	85.0	84.5	85.1		82.9	84.6	84.2	84.1		83.1	84.2	84.3	84.3
	7		100.8	103.6	102.7	103.2		99.9	101.7	100.7	100.9		99.6	101.2	101.2	101.1
	Flujo simulado			3963				4635				4602				
	1	1278	101.3	100.0	100.9	100.1	9141	95.1	68.9	26.4	26.5	5072	43.6	26.8	26.6	26.9
	2		101.2	101.8	102.0	101.7		89.4	34.1	27.3	27.1		41.6	28.1	27.4	27.6
	3		100.8	101.8	101.7	101.9		56.4	27.6	27.0	27.3		32.8	27.5	27.6	27.7
	4		76.5	75.9	72.3	74.5		29.6	27.2	26.5	26.8		26.5	27.2	27.0	27.2
	5		26.0	27.1	26.7	27.0		24.1	25.3	25.2	25.3		24.4	25.3	25.5	25.3
	6		83.1	84.6	84.8	84.9		82.8	84.4	84.7	84.4		82.7	84.4	84.2	84.4
	7		101.1	102.6	103.0	103.3		100.1	101.0	101.5	101.3		100.3	101.2	101.1	100.9
Flujo simulado			3973				4609				4635					
1	8650	100.8	100.1	100.2	99.1	4005	96.3	91.0	37.4	27.9	9136	52.9	26.7	26.7	26.1	
2		101.0	101.2	101.3	100.8		98.1	70.8	27.3	26.9		42.1	27.8	27.5	27.1	
3		101.1	101.3	101.7	101.2		88.2	35.3	27.1	26.7		32.5	27.9	27.3	26.8	
4		75.9	72.6	73.5	71.6		41.2	26.8	26.6	26.4		26.3	27.5	26.7	26.4	
5		26.1	26.7	26.9	26.8		24.3	25.1	25.2	25.1		24.2	25.3	25.1	24.9	
6		83.0	84.8	84.6	84.6		83.2	84.3	84.5	84.2		82.1	84.4	84.1	84.3	
7		101.6	102.6	102.9	102.2		100.3	101.2	100.9	101.5		99.5	100.7	100.8	100.8	
Flujo simulado			4083				4612				4621					

ANEXO 2

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL BARRIO

VIAS

En Can Vidalet hay 22 calles y 2 avenidas:

C. MOLÍ (arteria principal)
C. VIDAL I RIBAS
C. PAU I TORRES
C. JOCS FLORALS
C. PAU PICASSO
C. ANTONI GAUDÍ
C. JOSEP GRAS
C. AVE MARIA
C. RICART GÜELL
C. LLEVANT
C. CEDRES
C. VERGE DE LA MERCÈ
C. PUBILLA CASES
C. HORTÈNSIA
C. MALADETA
C. PERE GALVANY
C. DE LA MENTA
C. SERRA DEL CADI
C. EUCALIPTUS
C. CAQUIS
C. GLICINES
C. MAGNÒLIES

AV. CIUTAT DE L'HOSPITALET
AV. DEL TORRENT

En la simulación, también se incluyen:

C. PERE PELEGRÍ
C. M. AURÈLIA CAPMANY
C. HIERBABUENA
C. ENRIQUE TIerno GALVÁN
C. LAUREÀ MIRÓ
C. ROSA D'ALEXANDRIA

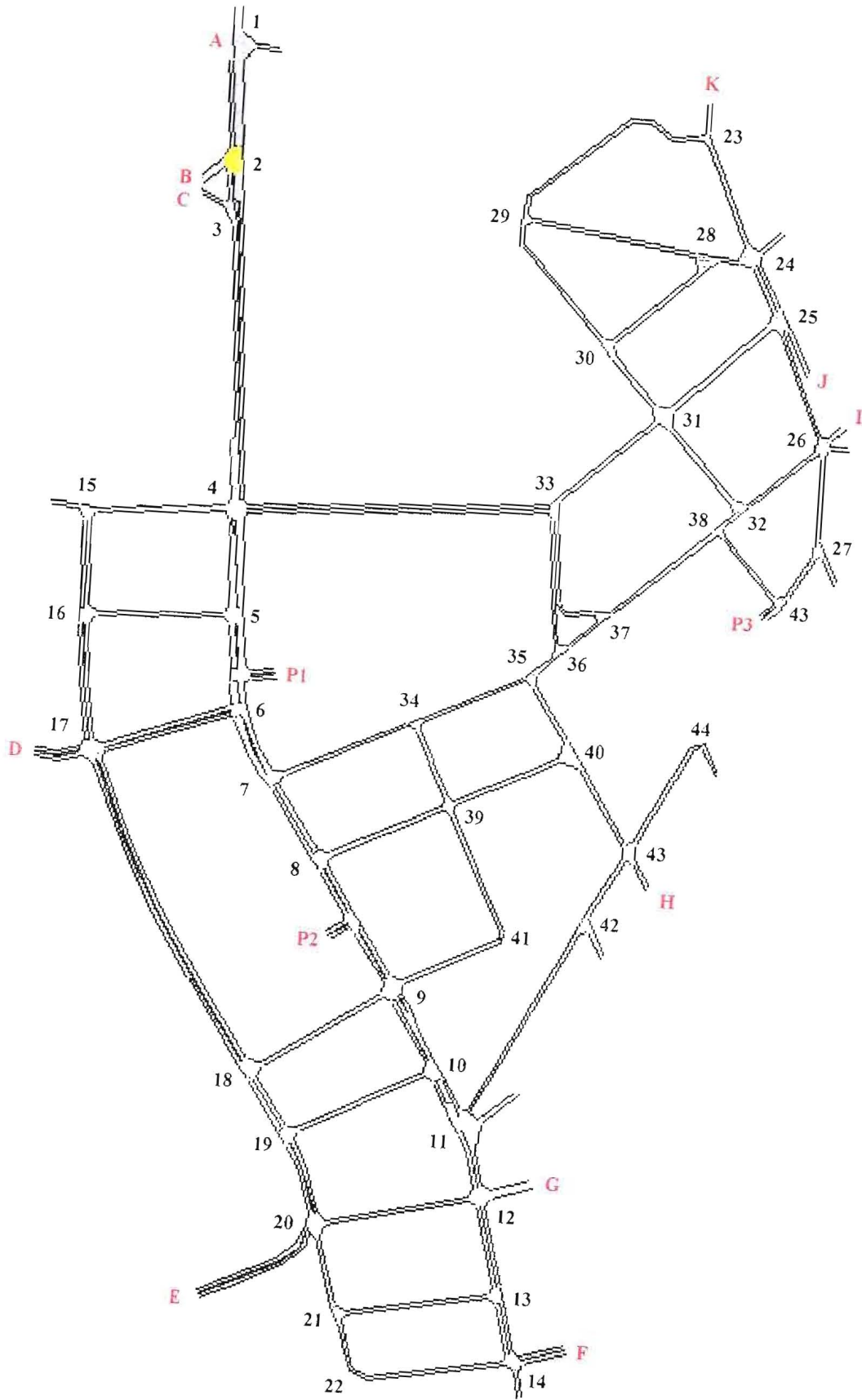
AV. DE SEVERO OCHOA
AV. ELECTRICITAT

SALIDA 12 RONDA DE DALT
CAMÍ DE CAN NYAC

CRUCES

- Cruce 1:** C. Molí / C. Laureà Miró
Cruce 2: C. Molí / Salida 12 Ronda de Dalt. Direcció C. Laureà Miró
Cruce 3: C. Molí / Salida 12 Ronda de Dalt. Direcció C. Molí
Cruce 4: C. Molí / C. Vidal i Ribas, C. Cedres
Cruce 5: C. Molí / C. Pau Torres
Cruce 6: C. Molí / C. Jocs Florals
Cruce 7: C. Molí / C. Verge de la Mercè
Cruce 8: C. Molí / C. Pubilla Cases
Cruce 9: C. Molí / C. Antoni Gaudí, C. Hortènsia
Cruce 10: C. Molí / C. Josep Gras
Cruce 11: C. Molí / C. Maladeta, C. Mina
Cruce 12: C. Pere Pelegrí / C. Ave Maria, C. Marcel·lí Esquiús
Cruce 13: C. Pere Pelegrí / C. Ricart Güell
Cruce 14: C. Pere Pelegrí / C. Llevant, Av. Electricitat
Cruce 15: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Vidal i Ribas, C. Enrique Tierno Galván
Cruce 16: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Pau Torres
Cruce 17: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Jocs Florals, C. M. Aurèlia Capmany
Cruce 18: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Antoni Gaudí
Cruce 19: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Josep Gras
Cruce 20: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Ave Maria, Camí de Can Nyac
Cruce 21: Av. Ciutat de l'Hospitalet / C. Ricart Güell
Cruce 22: Av. Ciutat de l'Hospitalet, C. Del Mar / C. Llevant
Cruce 23: Av. del Torrent / Plaça Jacint Verdaguer
Cruce 24: Av. del Torrent / C. Magnòlies
Cruce 25: Av. del Torrent, Av. de Severo Ochoa / C. Cedres
Cruce 26: Av. del Torrent / C. Verge de la Mercè
Cruce 27: Av. del Torrent / C. Maladeta
Cruce 28: C. Magnòlies / C. Glicines
Cruce 29: C. Magnòlies / C. dels Caquis, C. Eucaliptus
Cruce 30: C. Glicines / C. Eucaliptus
Cruce 31: C. dels Cedres / C. Eucaliptus
Cruce 32: C. Verge de la Mercè / C. Eucaliptus
Cruce 33: C. dels Cedres / C. Serra del Cadí
Cruce 34: C. Verge de la Mercè / C. Pere Galvany
Cruce 35: C. Verge de la Mercè / C. de la Menta
Cruce 36: C. Verge de la Mercè / C. Serra del Cadí I
Cruce 37: C. Verge de la Mercè / C. Serra del Cadí II
Cruce 38: C. Verge de la Mercè / Costat del Mercat
Cruce 39: C. Pubilla Cases / C. Pere Galvany
Cruce 40: C. Pubilla Cases / C. de la Menta
Cruce 41: C. Pere Galvany / C. Hortènsia
Cruce 42: C. Maladeta / C. Molí (l'Hospitalet)
Cruce 43: C. Maladeta / C. de la Menta, C. Hierbabuena
Cruce 44: C. Maladeta / C. Rosa d'Alexandria

MAPA DE CAN VIDALET



PLANTILLAS DE RECOGIDA DE DATOS

RECOGIDA DE DATOS

Fases que se llevan a cabo para recoger la información necesaria en la modelización:

- I.** Definición del problema y de los objetivos.
- I.** Definición de la población.
- II.** Determinación de las fuentes de información
 - Primaria (observación / experimentación).
 - Secundaria (información ya recogida y disponible).
- III.** Determinación de la técnica de recogida.
 - Diseño muestral
 - Cómo (dónde, herramienta y unidad de medida).
 - Cuántos (número de observaciones, tiempo).
 - Diseño plantilla
- IV.** Recogida de los datos (trabajo de campo).
 - Control de calidad y depuración de los datos
 - Corrección de errores.
 - Tratamiento de valores anormales.
 - Tratamiento de valores faltantes.
- V.** Análisis de los datos.
- VI.** Interpretación de los resultados.
- VII.** Redacción del informe.

	INTRADA	DESTINO	COCHES	Total	MOTOS	Total	CAMIONES	Total
A	C/ Laureà Miró	C/ Molf		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
B	Sortida 12 Ronda de Dalt	C/ Molf ↗		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
C	Sortida 12 Ronda de Dalt	C/ Molf ↘		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
D	C/ M. Aurèlia Capmany	Av. Ciutat de l'Hospitalet ↗		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		Av. Ciutat de l'Hospitalet ↘		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		C/ Jocs Florals		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
E	Camí de Can Nyac	Av. Ciutat de l'Hospitalet ↗		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		Av. Ciutat de l'Hospitalet ↘		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
F	Av. Electricitat	C/ Pere Pelegrí		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
G	C/ Marcel·lí Esquius	C/ Pere Pelegrí ↗		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		C/ Pere Pelegrí ↘		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
H	C/ Hierbabuena	C/ de la Menta		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		C/ Maladeta		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
I	C/ Verge de la Mercè	C/ Verge de la Mercè		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		Av. del Torrent		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
J	Av. de Severo Ochoa	Av. de Severo Ochoa		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		Av. del Torrent		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
K	C/ Laureà Miró	Av. del Torrent		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
P1		C/ Molf		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
P2		C/ Molf ↗		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
		C/ Molf ↘		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
P3		C/ Maladeta		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>

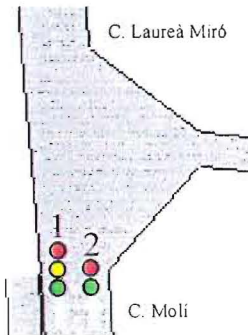
Semáforo nº			
Cruce al que pertenece			
	VER	hh:mm:ss	Tiempo de cada color
	AM		V ____
	ROJ		A ____
	VER		R ____
	AM		Duración del ciclo semafórico _____
	ROJ		
	VER		
	AM		Desfase respecto al sem. nº 1 _____
	ROJ		
	VER		

DATOS RECOGIDOS EN LA RED

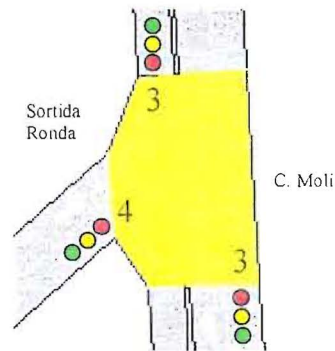
PLAN DE CONTROL

En Can Vidalet se utiliza el control semafórico para dar prioridad a los vehículos que circulan por la calle Molí. Exactamente, hay 6 cruces semaforizados y 17 semáforos en total.

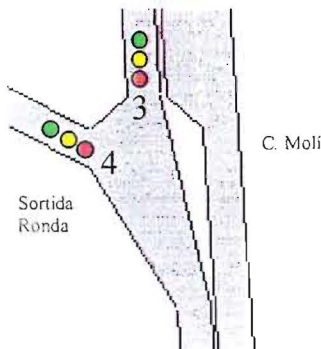
Cruce 1



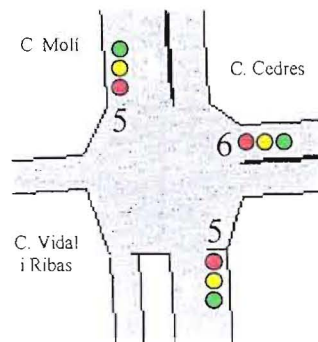
Cruce 2



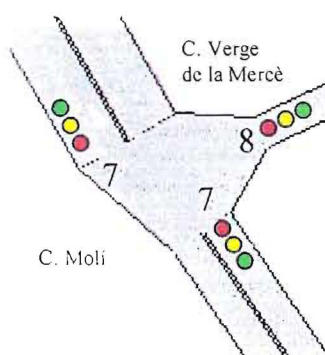
Cruce 3



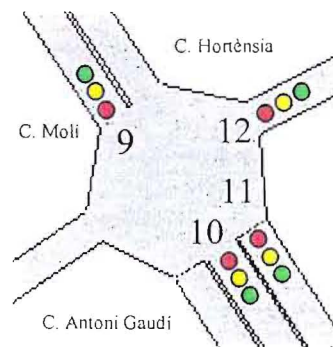
Cruce 4



Cruce 7



Cruce 9



Los datos recogidos en cada cruce semaforizado son:

El semáforo se pone en:	1			2			3			4			5			6		
	h	m	s	h	m	s	h	m	s	h	m	s	h	m	s	h	m	s
Verde	16	35	04	16	36	14	16	40	28	16	45	58	16	56	21	17	00	08
Ámbar	16	35	24	-	-	-	16	41	22	16	46	22	16	56	56	17	00	23
Rojo	16	35	27	16	36	29	16	41	25	16	46	25	16	56	59	17	00	26
Verde	16	36	34	16	37	44	16	41	58	16	47	28	16	57	23	17	01	10
Ámbar	16	36	54	-	-	-	16	42	52	16	47	52	16	57	58	17	01	25
Rojo	16	36	57	16	37	59	16	42	55	16	47	55	16	58	01	17	01	28
Verde	16	38	04	16	39	14	16	43	28	16	48	58	16	58	25	17	02	12
Ámbar	16	38	24	-	-	-	16	44	22	16	49	22	16	59	00	17	02	27
Rojo	16	38	27	16	39	29	16	44	25	16	49	25	16	59	03	17	02	30
Verde	16	39	34	16	40	44	16	44	58	16	50	28	16	59	27	17	03	14

Tiempo en verde	20 s	15 s	54 s	24 s	35 s	15 s
Tiempo en ámbar	3 s	0 s	3 s	3 s	3 s	3 s
Tiempo en rojo	67 s	75 s	33 s	63 s	24 s	44 s

Duración del ciclo	90 s		90 s		62 s	
--------------------	------	--	------	--	------	--

Desfase respecto al 1	-	- 20 s	- 36 s	- 66 s	- 25 s	- 46 s
-----------------------	---	--------	--------	--------	--------	--------

El semáforo se pone en:	7			8			9			10			11			12		
	h	m	s	h	m	s	h	m	s	h	m	s	h	m	s	h	m	s
Verde	17	03	07	17	07	24	17	12	06	17	21	14	17	18	46	17	16	42
Ámbar	17	03	42	17	07	49	17	12	48	17	21	36	17	19	56	17	17	00
Rojo	17	03	45	17	07	52	17	12	51	17	21	39	17	20	59	17	17	03
Verde	17	04	19	17	08	36	17	13	46	17	22	54	17	20	26	17	18	22
Ámbar	17	04	54	17	09	01	17	14	28	17	23	16	17	21	36	17	18	40
Rojo	17	04	57	17	09	04	17	14	31	17	23	19	17	21	39	17	18	43
Verde	17	05	31	17	09	48	17	15	26	17	24	34	17	22	06	17	20	02
Ámbar	17	06	06	17	10	13	17	16	08	17	24	56	17	23	16	17	20	20
Rojo	17	06	09	17	10	16	17	16	11	17	25	59	17	23	19	17	20	23
Verde	17	06	43	17	11	00	17	17	06	17	26	14	17	23	46	17	20	42

Tiempo en verde	35 s	25 s	42 s	22 s	70 s	18 s
Tiempo en ámbar	3 s	3 s	3 s	3 s	3 s	3 s
Tiempo en rojo	34 s	44 s	55 s	75 s	27 s	79 s

Duración del ciclo	72 s			100 s		
--------------------	------	--	--	-------	--	--

Desfase respecto al 1	- 45 s	- 4 s	- 78 s	- 30 s	- 78 s	- 2 s
-----------------------	--------	-------	--------	--------	--------	-------

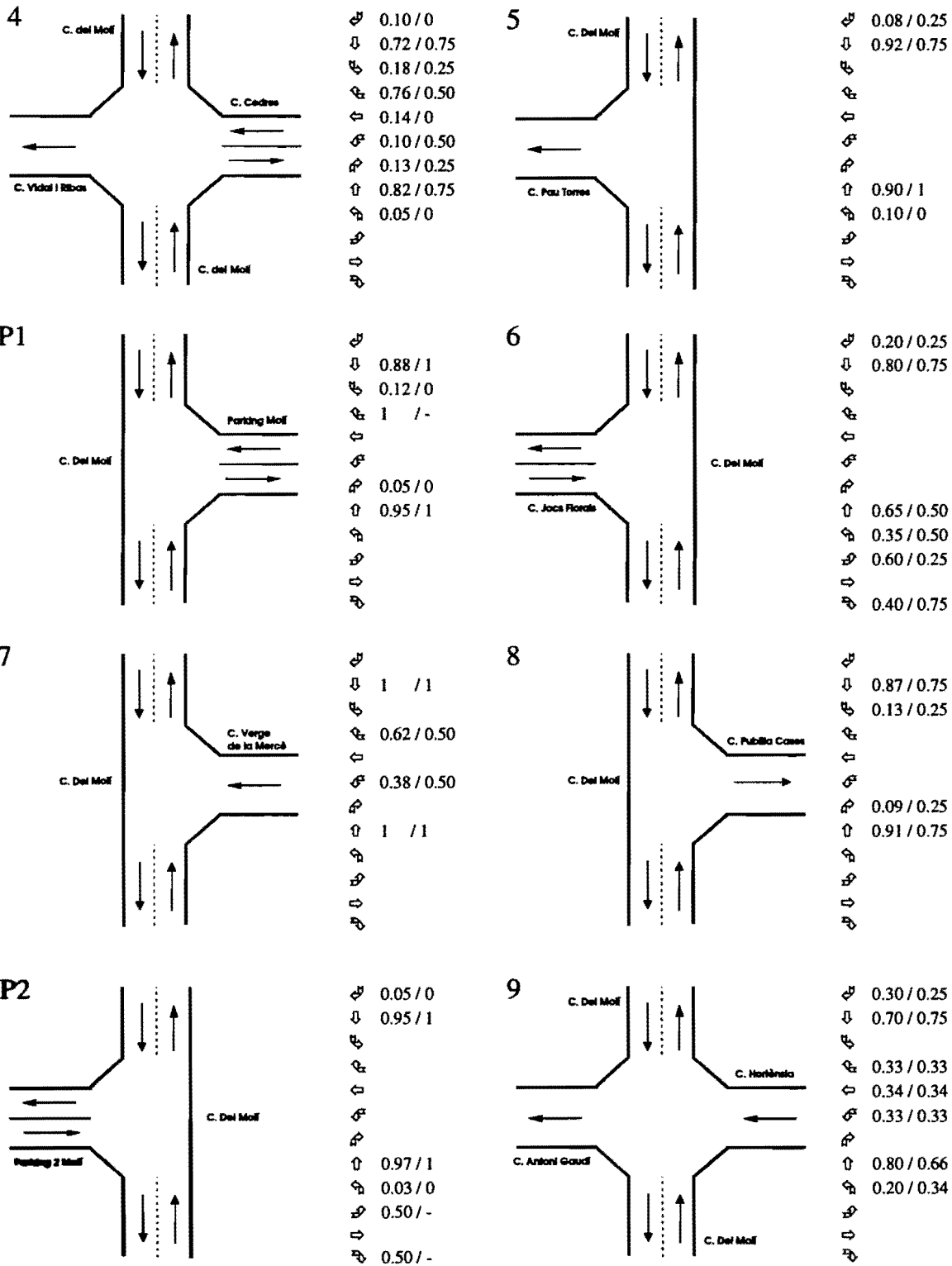
FLUJOS DE ENTRADA

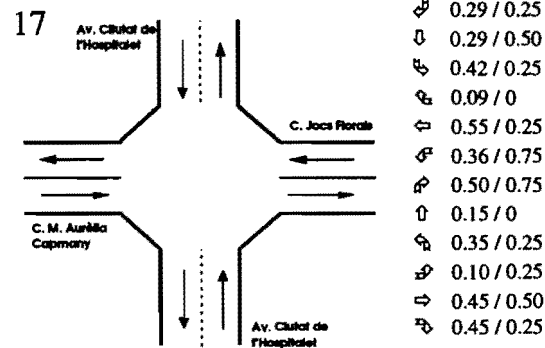
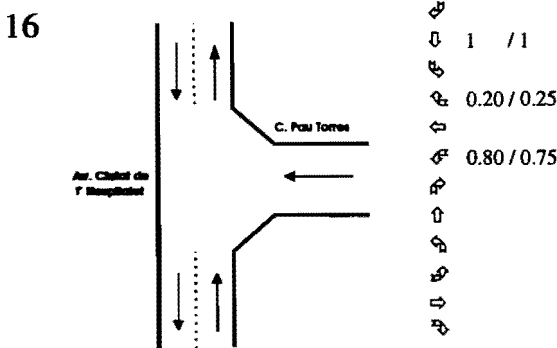
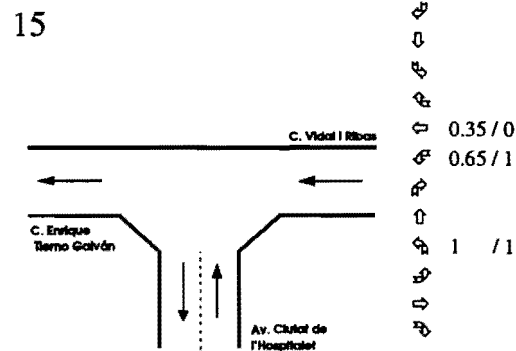
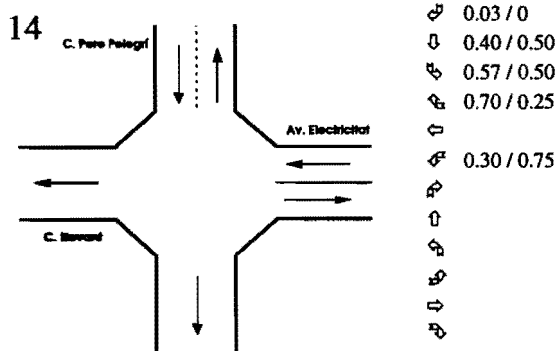
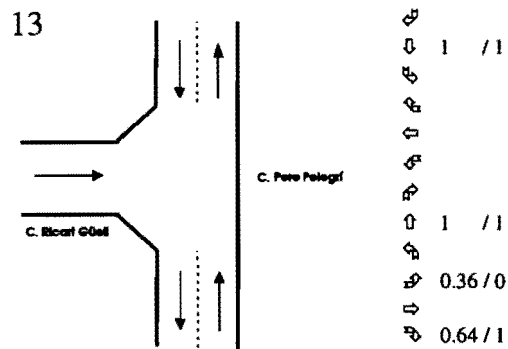
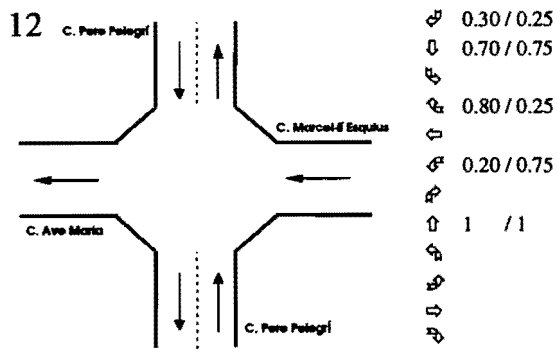
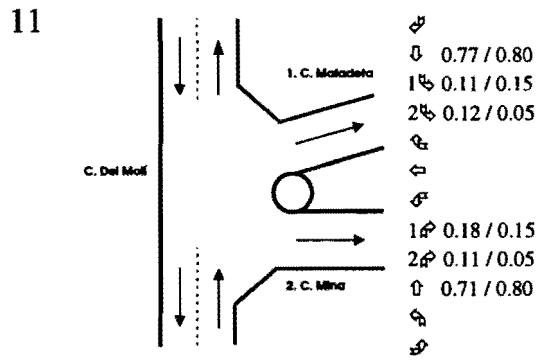
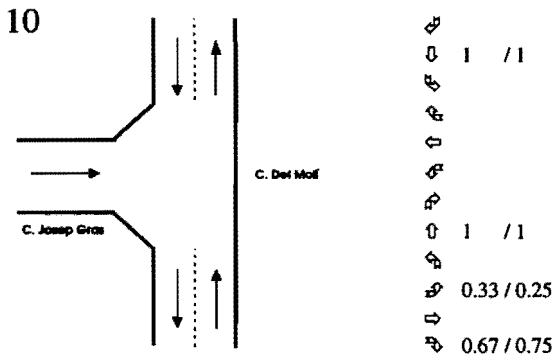
Los flujos obtenidos en cada una de las entradas de Can Vidalet son:

	SECCIÓN ORIGEN	SECCIÓN DESTINO	FLUJO (veh/h) ¹		
A	C/ Laureà Miró	C/ Molí	336	30	6
B	Sortida 12 Ronda de Dalt	C/ Molí ↗	464	12	20
C	Sortida 12 Ronda de Dalt	C/ Molí ↘	132	6	6
D	C/ M. Aurèlia Capmany	Av. Ciutat de l'Hospitalet ↗	60	8	2
		Av. Ciutat de l'Hospitalet ↘			
		C/ Jocs Florals			
E	Camí de Can Nyac	Av. Ciutat de l'Hospitalet ↗	564	38	8
		Av. Ciutat de l'Hospitalet ↘			
F	Av. Electricitat	C/ Pere Pelegrí	120	6	2
G	C/ Marcel·lí Esquiús	C/ Pere Pelegrí ↗	264	16	4
		C/ Pere Pelegrí ↘			
H	C/ Hierbabuena	C/ de la Menta	98	10	2
		C/ Maladeta			
I	C/ Verge de la Mercè	C/ Verge de la Mercè	186	12	4
		Av. del Torrent			
J	Av. Severo Ochoa	Av. Severo Ochoa	62	14	2
		Av. del Torrent			
K	C/ Laureà Miró	Av. del Torrent	424	42	12
P1		C/ Molí	40	4	-
P2		C/ Molí ↗	30	4	-
		C/ Molí ↘			
P3		C/ Maladeta	10	2	-
Totales			2790	204	68
%			91.1	6.7	2.2

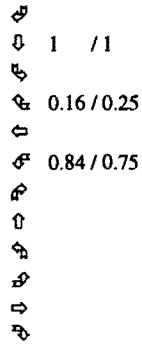
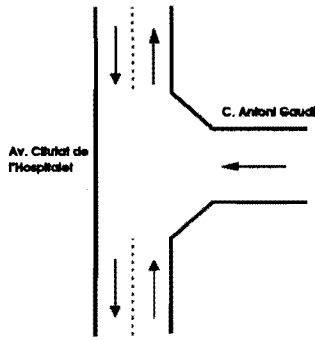
¹ Coches / Motocicletas / Camiones

PROPORCIONES DE GIRO

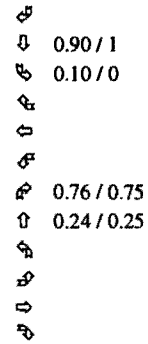
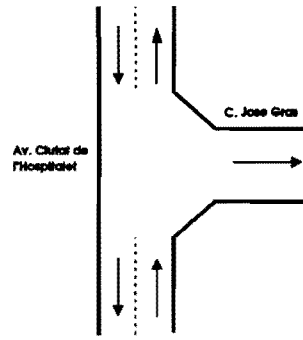




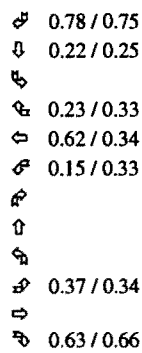
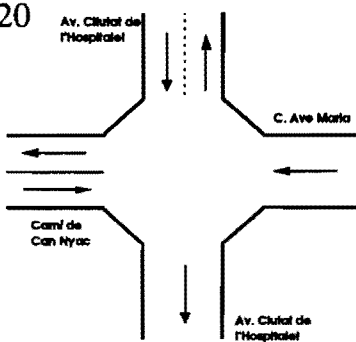
18



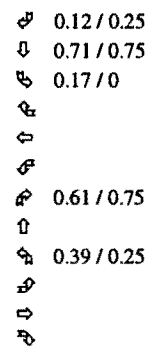
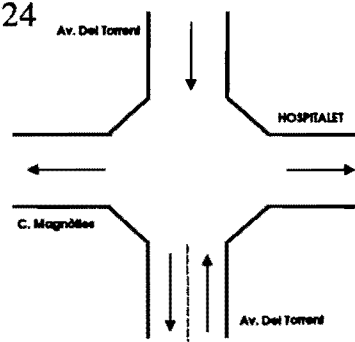
19



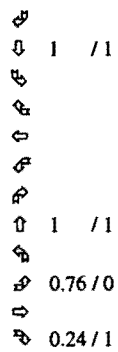
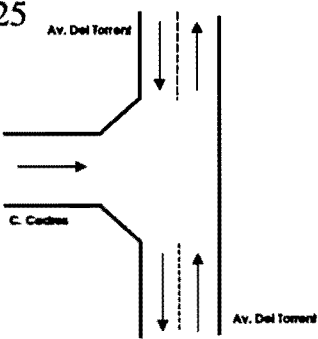
20



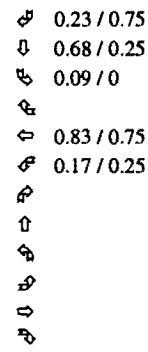
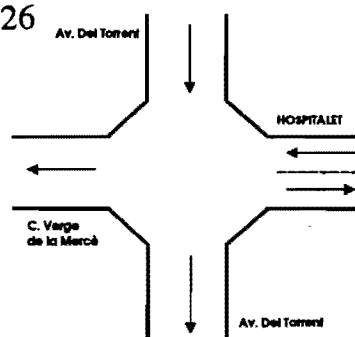
24



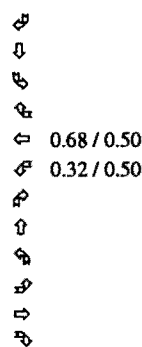
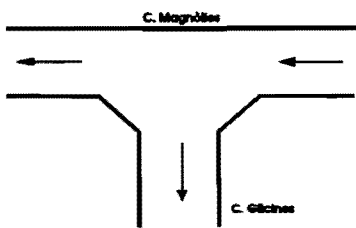
25



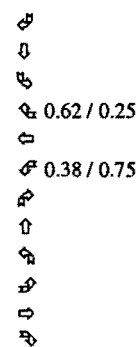
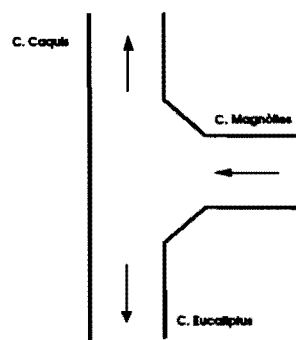
26

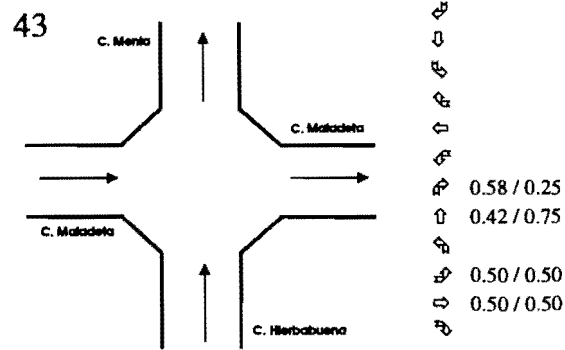
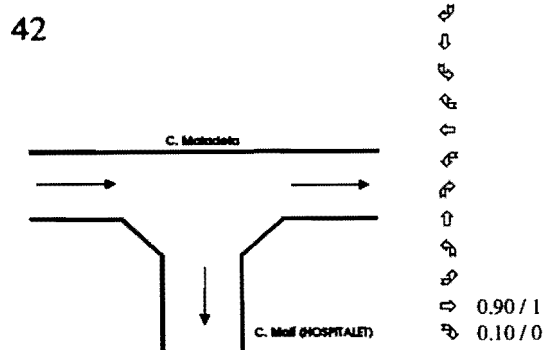
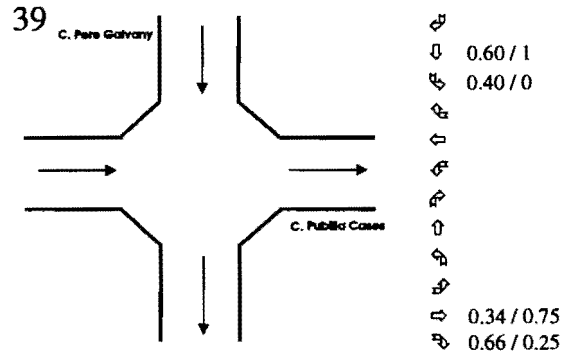
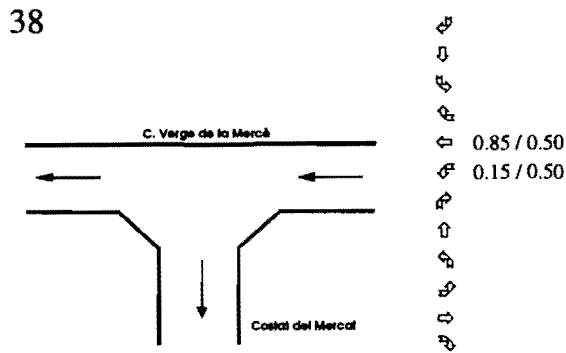
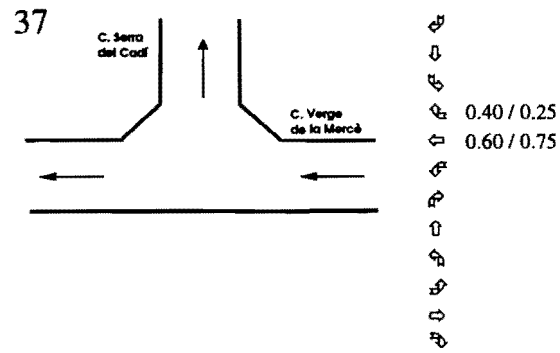
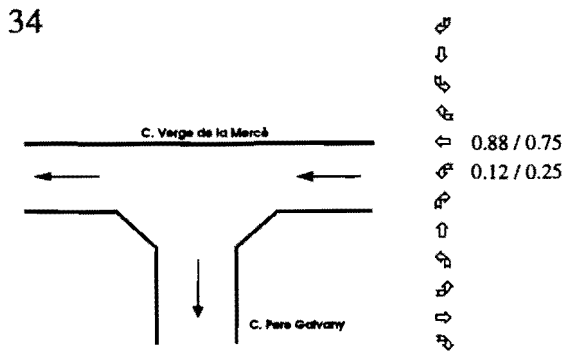
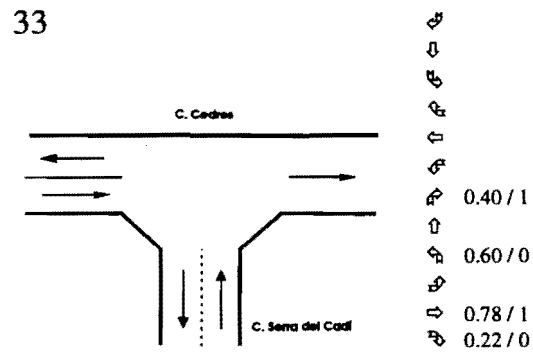
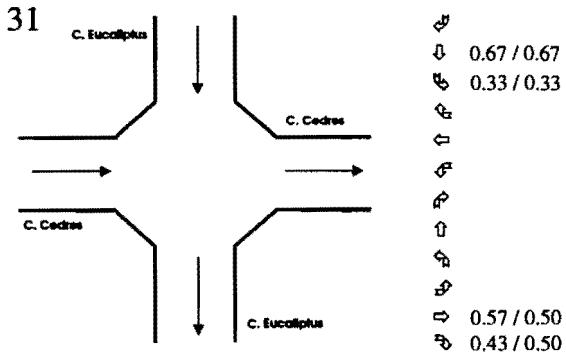


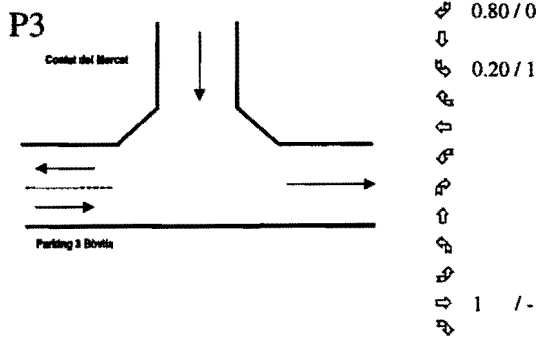
28



29



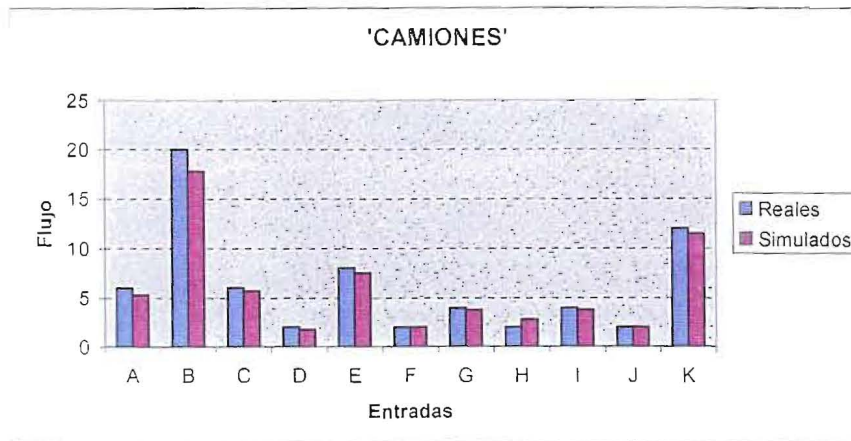
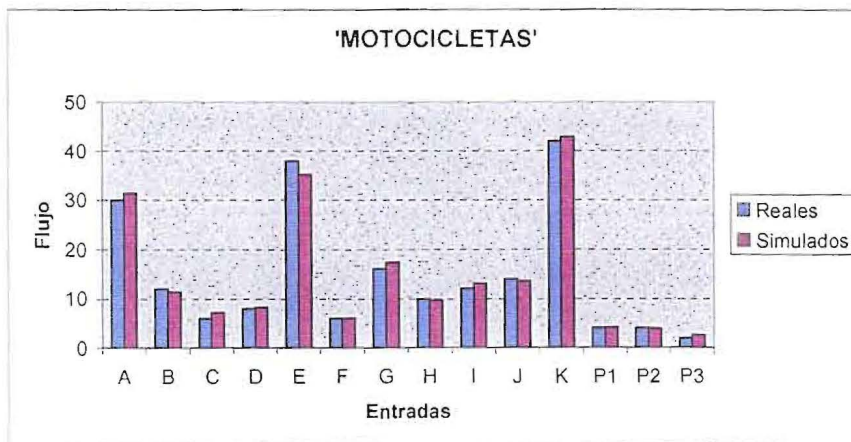
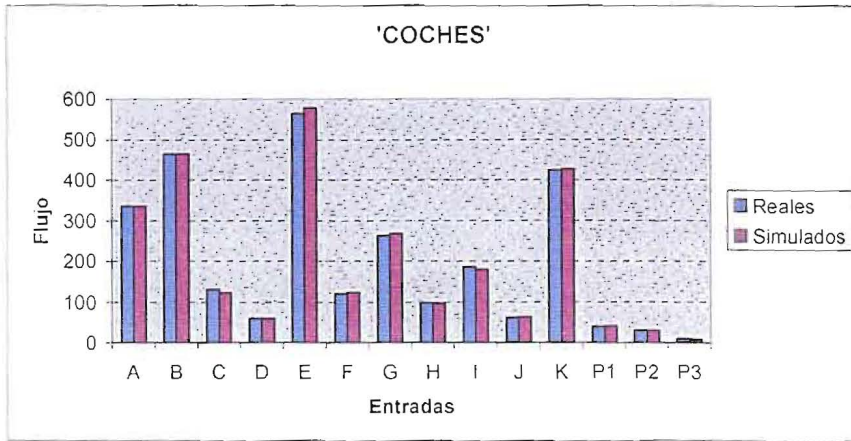




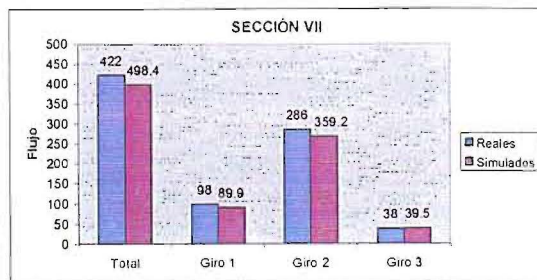
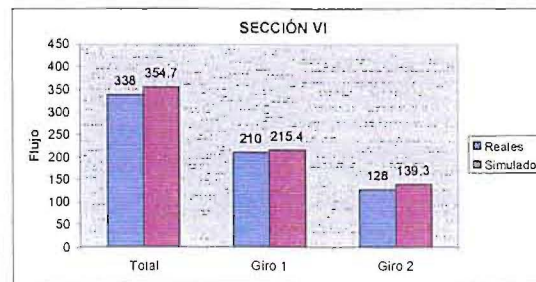
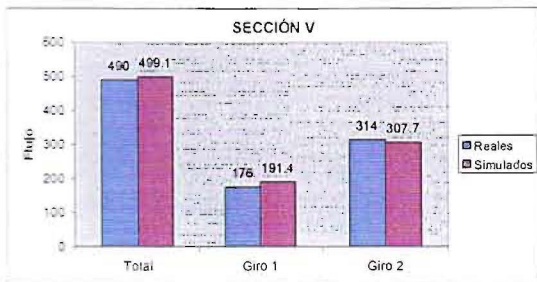
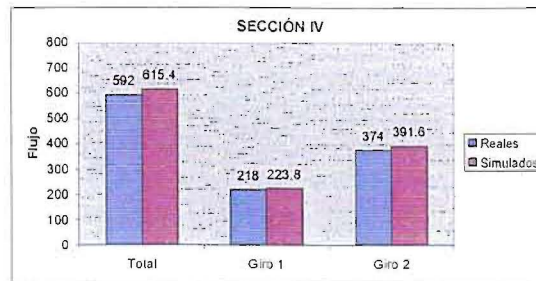
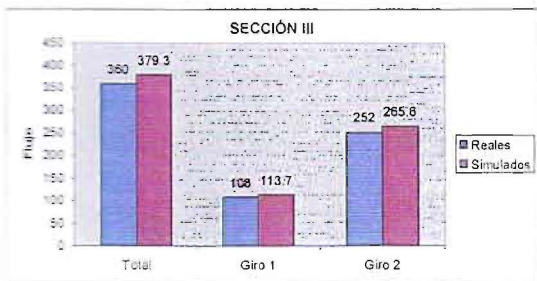
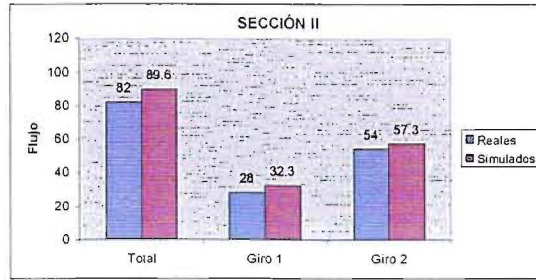
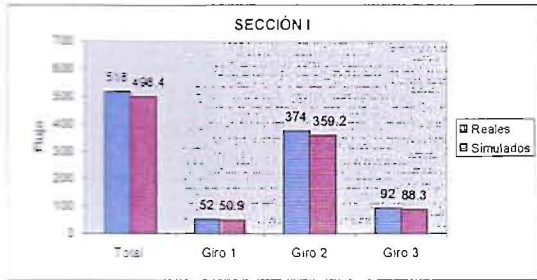
En los demás cruces (nº 2 , 3, 21, 22, 23, 27, 30, 32, 35, 36, 40, 41 y 44) solo se permite un único giro, por lo tanto la proporción es 1.

DATOS RECOGIDOS VS. SIMULADOS

COMPARACIÓN DE LOS DATOS RECOGIDOS Y SIMULADOS



COMPARACIÓN DE LOS FLUJOS INTERNOS RECOGIDOS Y SIMULACIÓN



RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

TIEMPOS DE VIAJE ¹

Los datos obtenidos en la experimentación sobre tiempos de viaje son:

Seed	Ruta 1				
	# Veh.	Vel. Media	Tiempo de viaje	Tiempo parado	Paradas/veh.
7904	57	26.7	2 m 44 s	45 s	2.8
1028	61	26.4	2 m 52 s	51 s	3.1
4525	61	26.4	2 m 45 s	45 s	3.1
0391	59	26.2	2 m 50 s	51 s	3.2
6839	59	26.5	2 m 51 s	50 s	3.1
2603	55	26.8	2 m 40 s	43 s	2.7
4096	58	26.3	2 m 47 s	47 s	3.1
7180	62	26.6	2 m 46 s	48 s	3.0
5627	62	26.8	2 m 43 s	44 s	2.7
8652	58	26.2	2 m 48 s	48 s	3.1

Seed	Ruta 2				
	# Veh.	Vel. Media	Tiempo de viaje	Tiempo parado	Paradas/veh.
7904	2	28.8	2 m 56 s	24 s	1.9
1028	3	29.1	2 m 53 s	24 s	1.9
4525	3	28.8	2 m 58 s	24 s	1.8
0391	2	28.9	2 m 59 s	25 s	2.0
6839	2	28.8	3 m 00 s	26 s	2.0
2603	2	28.9	2 m 58 s	27 s	2.1
4096	2	29.0	2 m 57 s	27 s	2.1
7180	3	28.7	3 m 04 s	29 s	2.2
5627	3	28.7	2 m 55 s	22 s	1.9
8652	3	29.0	2 m 57 s	25 s	2.0

Y las medias:

Ruta	# Veh.	Vel. Media	Tiempo de viaje	Tiempo parado	Paradas/veh.
1	592	26.5 km/h	2 m 46.6 s	47.2 s	3.0
2	25	28.9 km/h	2 m 57.7 s	25.3 s	2.0

¹ La información sería más completa si dispusiéramos de la desviación de la variable tiempo de viaje, pero AIMSUN2 no nos la facilita.

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Estadísticas sobre el sistema:

Seed	Tipo de Vehículo	Flujo Medio	Densidad	Velocidad Media	Tiempo de Viaje	Tiempo de Demora	Tiempo de Parada	Paradas	Recorrido
7904	Sistema	3027	12.4	18.5	4:24	2:38	2:15	5.3	1830.5
	A	2784	11.3	18.4	4:25	2:39	2:16	5.4	1660.3
	B	180	0.9	20.6	3:30	1:36	1:16	3.4	136.9
	C	63	0.2	15.2	6:17	4:38	3:59	6.6	33.2
1028	Sistema	3036	12.6	18.4	4:17	2:32	2:07	5.0	1890.5
	A	2754	11.4	18.4	4:19	2:34	2:10	5.1	1707.6
	B	223	0.9	19.7	3:33	1:43	1:18	3.5	143.6
	C	59	0.3	16.0	5:22	3:39	3:04	5.6	39.3
4525	Sistema	3133	13.6	17.8	4:35	2:50	2:28	5.2	1904.2
	A	2856	12.3	17.8	4:38	2:53	2:32	5.3	1718.8
	B	220	1.0	19.5	3:46	1:54	1:32	3.6	151.8
	C	57	0.3	16.1	5:06	3:23	2:53	4.7	33.6
0391	Sistema	2978	12.3	18.4	4:21	2:36	2:12	5.1	1805.6
	A	2736	11.3	18.4	4:22	2:37	2:13	5.2	1661.3
	B	190	0.8	19.9	3:30	1:39	1:16	3.4	119.0
	C	52	0.2	14.5	6:29	4:53	4:17	6.4	25.4
6839	Sistema	3118	12.7	18.3	4:27	2:42	2:17	5.4	1870.9
	A	2826	11.6	18.1	4:31	2:47	2:22	5.6	1689.5
	B	218	0.8	20.7	3:24	1:34	1:09	3.0	136.2
	C	74	0.3	16.6	4:49	3:05	2:29	5.4	45.2
2603	Sistema	3095	13.5	17.9	4:40	2:55	2:32	5.4	1873.3
	A	2809	12.3	17.8	4:43	2:59	2:36	5.6	1695.3
	B	211	0.9	19.8	3:41	1:51	1:28	3.7	133.5
	C	75	0.3	16.0	5:23	3:39	3:08	5.6	44.5
4096	Sistema	3114	13.3	18.0	4:31	2:46	2:23	5.3	1884.7
	A	2841	12.3	17.9	4:34	2:49	2:26	5.4	1724.9
	B	195	0.8	20.5	3:28	1:37	1:15	3.3	125.3
	C	78	0.3	15.8	5:30	3:47	3:12	5.9	34.4
7180	Sistema	3118	14.6	17.4	4:52	3:07	2:47	5.4	1933.1
	A	2862	13.4	17.2	4:55	3:11	2:50	5.5	1774.5
	B	200	0.9	19.6	3:53	2:03	1:41	3.5	126.1
	C	56	0.3	16.2	5:49	4:05	3:37	5.3	32.5
5627	Sistema	3125	13.7	17.7	4:39	2:54	2:32	5.3	1904.8
	A	2832	12.5	17.6	4:43	2:58	2:36	5.5	1723.8
	B	232	1.0	19.7	3:47	1:58	1:35	3.7	150.6
	C	61	0.2	16.8	5:05	3:21	2:48	4.9	30.4
8652	Sistema	3033	12.7	18.3	4:22	2:37	2:13	5.3	1840.9
	A	2763	11.6	18.3	4:23	2:38	2:15	5.4	1672.9
	B	201	0.9	19.9	3:41	1:52	1:27	3.9	137.5
	C	69	0.2	15.5	5:27	3:43	3:09	5.9	30.6

A: 'coches'; B: 'motocicletas'; C: 'camiones'

ANEXO 3

BIBLIOGRAFÍA

- **Ferrer, J. L.:** Un simulador microscópico de tráfico para el análisis de sistemas telemáticos aplicados al transporte. Proyecto de tesis doctoral. Departamento EIO . UPC, 1999
- **User's Manuals TEDI** versión 3.2. Transport Simulation Systems, 1998.
- **User's Manuals AIMSUN2** versión 3.2. Transport Simulation Systems, 1998.
- **Law, A. M. & Kelton, W. D.:** Simulation Modelling and Analysis. Ed. McGraw-Hill, 1991.
- **Barceló, J.:** Simulación de sistemas discretos. Ed. Isdefe, 1996.
- **Bratley, P., Fox, B.L. & Schrage, L. E.:** A guide to simulation. Ed. Springer-Verlag, 1987.
- **Kleijnen, J.:** Simulation. A statistical perspective. Wiley, 1992.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto de este proyecto se estima en función de las horas dedicadas para su realización y del material utilizado en su desarrollo y ejecución:

- **Horas dedicadas:** 1360 horas (20 semanales cada uno)

Repartidas entre: Aprendizaje del funcionamiento del TEDI y del AIMSUN2
Recogida de los datos
Experimentación
Análisis de los datos
Redacción del informe

Personal: 2.720.000 pts (1360 h × 2000 pts/h)

- **Material utilizado:** PC Pentium
Impresora de color
Windows NT 4.0
TEDI v3.2
AIMSUN2 v3.2
Exceed XDK v6.0
Minitab Release 10.1
Microsoft Office 97
SnapShot/32
Micrografx ABC ProcessAnalyzer

Equipo: 1.580.000 pts

- COSTE TOTAL :** 4.300.000 pts