



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA,
LEÓN
UNAN-LEÓN**



FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA

TESIS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN MATEMÁTICA

**TEMA: SIMULACIÓN DEL TRÁFICO EN SEMÁFOROS DE LA
CIUDAD DE LEÓN, NICARAGUA**

AUTOR.

BR. ISMAEL ANTONIO CARDENAS LOPEZ

TUTOR

DR. RAMIRO CÁCERES

“A LA LIBERTAD POR LA UNIVERSIDAD”



Agradecimiento

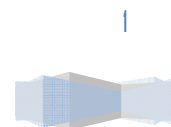
Agradezco

En primer lugar a Dios nuestro señor, por iluminarme, dándome la suficiente fuerza para culminar mis estudios.

A mis padres: Juan Francisco Cárdenas e Idalia López por apoyarme siempre y confiar en mí y así cumplir mis metas.

Dr. Ramiro Cáceres Espinoza Tutor, por brindarme todo su apoyo incondicional y conocimiento en la presente tesis.

También les agradezco a todos los profesores que a lo largo de mi carrera me enseñaron sus conocimientos orientándome día a día. En especial a Doctora y profesora Adalila Molina por sus consejos fuente de ánimo para seguir adelante y al master y profesor Milton Carvajal que siempre estuvo a la disposición cuando tenía que consultarle algo.





Dedicatoria

Dedico este trabajo a:

Dios nuestro creador por darme sabiduría para la realización y culminación este trabajo y así dar este gran paso en mi vida.

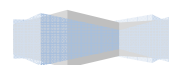
A mis padres:

Juan Francisco Cárdenas Martínez

Idalia Lucia López

Por ayudarme y animarme siempre a luchar para alcanzar mis metas, por su apoyo incondicional y depositar en mi toda su confianza.

A mis profesores que con su apoyo desinteresado me ayudaron a terminar mis estudios universitarios.





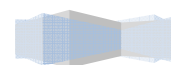
Objetivos

Objetivo general

Valorar el desempeño de la simulación de tráfico desarrollada en el Dpto. de Estadística y Matemática de la UNAN-León para describir el tráfico en semáforos de la ciudad de León, Nicaragua.

Objetivos específicos

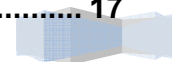
- **Conocer conceptos básicos de la teoría de flujo de tráfico vehicular y sus modelos**
- **Estudiar la simulación de tráfico desarrollada en el Dpto. de Estadística y Matemática de la UNAN-León**
- **Obtener medidas de rendimiento para el sistema de tráfico en semáforos de la ciudad de León, Nicaragua**
- **Comparar medidas de rendimiento obtenidas mediante la simulación de tráfico con las medidas reales obtenidas mediante trabajo de campo.**
- **Recomendar posibles mejoras a la simulación de tráfico referida a la luz de los resultados obtenidos**





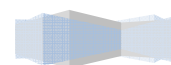
INDICE

1-INTRODUCCIÓN	1
2-TEORÍA DE FLUJO DE TRÁFICO	3
2.1-Parámetros fundamentales de tráfico	3
2.1.1- Intensidad de tráfico	3
2.1.1-Intervalo entre vehículos	3
2.1.1.2-Relación entre intervalo promedio e intensidad.....	4
2.1.1.3-Distribución del intervalo promedio entre vehículos	6
2.1.2-Velocidad	7
2.1.2.1.-Distribución de frecuencias de velocidades	8
2.1.3-Densidad de tráfico	8
2.1.3.1-Espaciamiento entre vehículos	9
2.1.3.2-Relación entre densidad y espaciamiento entre vehículos	9
2.1.3.3-Tiempos de recorrido y demoras	10
2.2-Relacion entre parámetros fundamentales	10
2.2.1-Relación velocidad-densidad	12
2.2.2-Relación intensidad-densidad	13
2.2.3-Relación velocidad-intensidad	15
2.3-Modelos de simulación de tráfico	16
2.3.1-Clasificación de modelos de tráfico vehicular.....	16
2.3.2-Algunos modelos de enfoque macroscópico	17
2.3.2.1-Modelo lineal de Greenshields	17



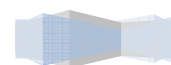


2.3.2.2-Modelo logarítmico de Greenberg	18
2.3.2.3-Modelo exponencial de R. T. Underwood.....	19
2.3.3-Modelos de enfoque microscópico.....	20
2.3.3.1-Autómata celular (AC).....	20
2.3.3.2-Modelo de Nagel-Schreckenberger.....	21
2.3.4-Modelos para mover los vehículos	21
2.3.4.1-Regla 184.....	21
2.3.4.2-Modelo “Car-Following”	23
3.-SISTEMAS DE COLAS.....	24
3.1-Características de un sistema de cola.....	24
3.1.1-Proceso de llegada.....	24
3.1.2-Proceso de cola	25
3.1.3-Proceso de servicio.....	25
3.1.4-Proceso de salida	26
3.2-Notación de Kendall-Lee para sistemas de colas.....	26
3.3-Características de operación de un sistema de colas	27
3.4-Algunos sistemas de colas	27
3.4.1-Sistema de colas $M/M/1/GD/\infty/\infty$	27
3.4.2-Sistema de colas $M/MM/s/GD/\infty/\infty$	28
4-LA SIMULACIÓN DE TRÁFICO	29
4.1-La red de tráfico.....	29
4.2-Entrada de la simulación	35
4.3-Salida de la simulación	35





4.4-Representación de la simulación en MATLAB.....	37
5-MEDIDAS DE DESEMPEÑO DEL TRÁFICO Y COMPARACIONES.....	38
5.1-Medidas de rendimiento para el tráfico en los semáforos.....	38
5.2-Comparaciones para el semáforo de la Casa CUUN	40
5.3-Comparaciones para el semáforo del Bulevar Sutiava	44
5.4-Probabilidad de n vehículos en la vía según la simulación.....	47
5.4.1-Probabilidad de n vehículos en las vías del semáforo de la Casa CUUN.....	47
5.4.2-Probabilidad de n vehículos en las vías del semáforo del Bulevar Sutiava.....	49
5.5-Análisis de resultados	51
6-CONCLUSIONES.....	55
7-RECOMENDACIONES	56
8-ANEXOS	57
8.1-Datos del primer trabajo de campo.....	57
8.2-Datos del segundo trabajo de campo	61
8.3-Archivos de entrada a la simulación	63
9-BIBLIOGRAFÍA.....	67





1.- INTRODUCCION

La mayoría de la actividad desarrollada en las áreas urbanas está asociada al desplazamiento de personas y mercancías entre diferentes zonas de las ciudades, haciendo uso diario de la infraestructura disponible. Un sistema de transporte eficiente es esencial para el desarrollo económico de la sociedad y la calidad de vida en las regiones urbanas y su entorno.

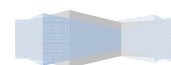
El sistema de tráfico vehicular se considera un sistema complejo y difícil de modelar. Su principal debilidad, el congestionamiento vehicular, se considera provocado por el incremento en el parque vehicular de las ciudades, la mala planificación de las vías, el factor humano, entre otros, y conduce a pérdidas económicas y daños al medio ambiente.

Por otra parte creemos es una necesidad de cualquier ciudad que haya un buen orden en cuanto a tráfico. Con esto podemos lograr no solo que se eviten los accidentes, sino que también mejorar la economía de alguna manera para cada uno de los que utilizan los medios de transporte.

El aumento en el número de vehículos en el mundo desarrollado hizo que en la década de los cincuenta surgiera el interés por comprender el fenómeno del flujo vehicular, desarrollándose a partir de entonces modelos para describirlo.

En la ciudad de León, Nicaragua, podemos observar el congestionamiento vehicular en distintos lugares, con el consecuente perjuicio a la sociedad en general, señalándose aquí como sus principales causas los hábitos de los conductores, el ordenamiento vial de la ciudad (ubicación de semáforos, altos, definición de vías de circulación) y el incremento en el parque vehicular.

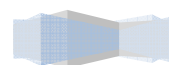
Nuestro trabajo consistió principalmente en el estudio de la teoría de tráfico y sus modelos, aplicándolos posteriormente al caso particular de la ciudad con el propósito inicial de hacer un análisis del desempeño de los semáforos de la ciudad. Concretamente se obtuvo mediante trabajo de campo información del flujo de tráfico de dos semáforos de la ciudad, los ubicados en la esquina de la Casa CUUN y en el Bulevar Sutiava. Se simuló el tráfico en estos puntos usando programas C++ diseñados por el grupo de trabajo de Simulación de Tráfico del Departamento de Estadística y Matemática de la UNAN-León. Se definieron medidas de rendimiento para el desempeño de los semáforos usando la teoría de colas y se compararon las medidas obtenidas de la simulación con las





medidas levantadas en el trabajo de campo, con el fin de validar la simulación y pasar a experimentar con estrategias para mejorar el tráfico en los semáforos. A pesar de que este fue el propósito inicial, esta monografía concluye con el análisis de la validez de la simulación del tráfico en los semáforos señalados y una serie de recomendaciones para validar la simulación.

En la literatura revisada no se encuentra estudio alguno con este enfoque sobre este tema en Nicaragua, las personas que se encargan de regular el tráfico lo hacen de acuerdo a su experiencia, eso fue lo que nos llevó a hacer este trabajo con el propósito inicial de ayudar a mejorar el servicio de los semáforos en la ciudad de León, Nicaragua.





2.- TEORIA DE FLUJO DE TRÁFICO

La teoría de flujo de tráfico estudia las interacciones entre vehículos, conductores e infraestructura con el propósito de comprender y desarrollar redes de vías óptimas, con movimiento de tráfico eficiente y mínimos problemas de congestamiento.

Los orígenes de la teoría de flujo de tráfico se remontan a la década de los cincuenta, y hasta ahora ha fallado en producir una teoría general satisfactoria que pueda ser aplicada consistentemente a condiciones reales, es así que los modelos actuales de tráfico son una mezcla de técnicas empíricas y teóricas.

2.1- Parámetros fundamentales de tráfico

Para la descripción de los estados de la circulación en cualquier infraestructura vial se pueden utilizar tres variables básicas: la intensidad, la velocidad y la densidad.

2.1.1- Intensidad de tráfico

Definición (Intensidad de tráfico)

Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de una vía por unidad de tiempo. Podemos calcularla como

$$I=N/T \quad (1)$$

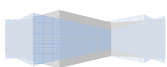
Donde N es el número de vehículos que pasan por la sección de la vía y T es el intervalo de tiempo específico.

Para medir la intensidad se pueden realizar conteos en determinadas secciones de la vía manualmente, automáticamente (utilizando aparatos contadores), electrónicamente (a través de espiras, captosres) y mediante tratamiento de imágenes.

2.1.1.1- Intervalos entre vehículos

Definición (Intervalo simple)

Llamamos intervalo simple h_i al intervalo de tiempo que transcurre entre el por un punto fijo de la vía de los vehículos consecutivos i -ésimo y $(i+1)$ -ésimo.





Definición (Intervalo promedio)

Llamamos intervalo promedio (h) de un grupo de vehículos que pasan por un punto fijo de una vía al promedio h de todos los intervalos simples resultantes entre los pares de vehículos consecutivos que circulan por la vía.

El intervalo promedio se calcula como

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N-1} \quad (2)$$

Dónde:

$N-1$: número de intervalos simples

h_i : intervalo simple entre vehículos i -ésimo y $(i+1)$ -ésimo (s)

2.1.1.2- Relación entre intervalo promedio e intensidad

Propiedad

Intervalo promedio e intensidad de tráfico satisfacen la relación

$$h \approx 1/I. \quad (3)$$

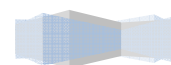
Prueba:

Asumimos que el momento inicial de la observación coincide con el momento de paso del primer vehículo y el momento final, con el momento de paso del último vehículo. Entonces

$$h = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} t_i = \frac{t}{N-1} \Rightarrow h = \left(\frac{N-1}{t} \right)^{-1} = \frac{1}{\frac{N-1}{t}} = \frac{1}{I - \frac{1}{t}} \approx \frac{1}{I}$$

Ejemplo:

Sobre una determinada vía de la ciudad de León se cronometraron los tiempos de paso de cada uno de los vehículos por un punto fijo de referencia desde las



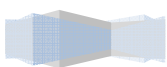


6:30 a 6:40 am tal como se indica en la tabla. Calcular la intensidad, los intervalos simples y el intervalo promedio.

Id. Vehículo	Tiempo		Id. Vehículo	Tiempo
1	6:30:12		11	6:35:58
2	6:31:00		12	6:36:27
3	6:31:28		13	6:37:00
4	6:32:05		14	6:37:42
5	6:32:58		15	6:38:03
6	6:33:45		16	6:38:29
7	6:34:06		17	6:38:57
8	6:34:40		18	6:39:21
9	6:35:00		19	6:39:59
10	6:35:21			

Según la tabla se contaron 19 vehículos durante 10 minutos por lo que de acuerdo con la ecuación (1) de tasa de intensidad es $I = 19/10 = 1.9 \text{ veh/min} \approx 2 \text{ veh/min}$. Lo que significaría que en una hora pasarían por el punto 120 vehículos.

Con base en la tabla anterior se construyen los intervalos simples entre pares de vehículos consecutivos.





Pares de Vehículos	h_i (s)		Pares de Vehículos	h_i (s)
1, 2	48		10, 11	37
2, 3	28		11, 12	29
3, 4	9		12, 13	10
4, 5	53		13, 14	42
5, 6	47		14, 15	11
6, 7	21		15, 16	26
7, 8	34		16, 17	28
8, 9	20		17, 18	24
9, 10	21		18, 19	38

De acuerdo a la ecuación (2)

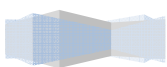
$$h = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N-1} = \frac{48+28+9+53+47+21+34+20+21+37+29+10+42+11+26+28+24+38}{18} = \frac{526}{18} = 29.22 \frac{s}{veh}$$

El intervalo promedio también puede aproximarse mediante la ecuación (3)

$$\text{resultando } h = \frac{1}{\frac{2}{60}} = 30 \frac{s}{veh}$$

2.1.1.3- Distribución del intervalo promedio entre vehículos

Si se considera el proceso de conteo de los vehículos que pasan por un punto fijo de la vía, entonces el tiempo entre eventos corresponde al intervalo simple entre vehículos consecutivos, es así que el intervalo simple entre vehículos tiene una distribución exponencial con parámetro λ .





Mientras la intensidad de tráfico no es elevada, la distribución de frecuencias de los intervalos se aproxima muy bien por medio de una distribución exponencial. Es decir, que la probabilidad de que un intervalo simple entre vehículos h sea mayor que un tiempo t es $p(h>t) = e^{-tI}$, siendo I la intensidad de tráfico.

Esta distribución tiene el inconveniente de dar una probabilidad no nula a intervalos muy pequeños. Sin embargo, cuando los vehículos circulan por un sólo carril, no pueden producirse intervalos muy pequeños debido a que cada vehículo tiene una cierta longitud. Además, cuando el tráfico aumenta, tienden a producirse grupos de vehículos que circulan muy seguidos, encabezados por uno más lento al que los demás no pueden adelantar. En estas condiciones pueden aproximarse mejor las distribuciones de intervalos simples utilizando leyes del tipo $p(h>t) = a e^{-I_1(t-d)} + (1-a) e^{-I_2(t-d)}$, siendo a , d , I_1 e I_2 parámetros a estimar a partir de las medidas realizadas en la vía.

2.1.2- Velocidad

Debido a que la velocidad en un tramo de la vía no permanece constante ni aun cuando el conductor procure mantenerla fija, introducimos los siguientes conceptos que van un poco más allá del concepto primario de velocidad.

Definición (Velocidad de recorrido)

La velocidad de recorrido de un vehículo es la velocidad media conseguida por el vehículo al recorrer un tramo dado de la vía.

Definición (Velocidad media temporal)

La velocidad media temporal es el promedio de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que pasan por un perfil fijo de la vía durante un cierto periodo de tiempo.

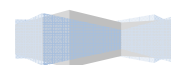
Definición (Velocidad media espacial, v_e) La velocidad media espacial es la media aritmética de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que en un momento determinado están en un tramo de vía dado.

Definición (Velocidad media de recorrido)

La velocidad media de recorrido es la media de las velocidades de recorrido de todos los vehículos en un tramo de carretera.

Definición (Velocidad media espacial a flujo libre)

Es la velocidad media de los vehículos cuando presentan volúmenes bajos de tráfico, y no hay imposición de restricciones de sus velocidades, ni por interrupción vehicular ni por regulaciones del tráfico.





Definición (Capacidad de la vía)

La capacidad es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis.

2.1.2.1- Distribución de frecuencias de velocidades

Midiendo las velocidades de varios vehículos se pueden determinar las distribuciones de frecuencia de estas velocidades; las frecuencias obtenidas dependerán del método seguido para medir las distintas velocidades. Si se miden las velocidades de los vehículos cuando estos pasan por un perfil fijo de la vía durante un periodo de tiempo dado se obtiene la llamada distribución temporal, mientras que si se miden las velocidades de todos los vehículos que en un instante están en un tramo dado de vía se obtiene la distribución espacial.

La intensidad de tráfico es el factor más influyente sobre la velocidad media en una vía. Se puede señalar que mientras la intensidad de tráfico es baja, los conductores pueden mantener la velocidad que ellos juzgan más adecuada, mientras que cuando aumenta la intensidad la velocidad de cada conductor viene determinada en gran parte por la de los demás, produciéndose una disminución de la velocidad media. Cuando esta intensidad es muy alta y la carretera llega a estar congestionada, la velocidad resulta poco influida por las características de la vía e incluso es casi la misma para todo tipo de vehículos.

2.1.3- Densidad de tráfico

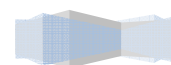
Definición (Densidad de tráfico)

La densidad de tráfico (k) es el número de vehículos por unidad de longitud que están sobre una vía. Se calcula como

$$K=N/d \quad (4)$$

Donde N es el número de vehículos y d la longitud del tramo de vía.

Note que la densidad es una variable que determina la valoración que hacen los conductores de la calidad de la circulación en una vía.





2.1.3.1- Espaciamiento entre vehículos

Definición (Espaciamiento simple)

El espaciamiento simple (s_i) entre vehículos consecutivos i -ésimo y $(i+1)$ -ésimo en una vía es la distancia entre las defensas traseras (o delanteras) de los vehículos. Note que el espaciamiento simple es la suma de la distancia entre los vehículos y la longitud del vehículo.

Definición (Espaciamiento promedio)

El espaciamiento promedio (s) en un grupo de vehículos que circulan por la vía en un momento dado es el promedio de todos los espaciamientos simples existente entre los pares de vehículos consecutivos en la vía. Se calcula mediante la expresión:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} S_i}{N-1} \quad (5)$$

Dónde:

$N-1$: número de espaciamientos

S_i : espaciamiento simple entre vehículos

2.1.3.2- Relación entre densidad y espaciamiento entre vehículos

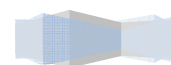
Propiedad

Espaciamiento promedio y densidad satisfacen la relación

$$K = 1/s \quad (6)$$

Prueba:

Asumimos que el momento inicial de la observación coincide con el momento de paso del primer vehículo y el momento final, con el momento de paso del último vehículo. Entonces





$$K = \frac{1}{S}, K = \frac{N}{d}, S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i = \frac{d}{N}, K = \frac{N}{d}$$
$$\Rightarrow K = \frac{1}{\frac{N}{d}} \Rightarrow K = \frac{1}{S} \quad (7)$$

2.1.3.3- Tiempos de recorrido y demoras

Al realizar la medida de tiempo que tarda un vehículo al desplazarse entre dos puntos interesa distinguir entre el tiempo que transcurre mientras el vehículo se mueve y el que transcurre estando el vehículo detenido. En algunos casos, por ejemplo en intersecciones, será incluso más importante registrar el tiempo que los vehículos permanecen detenidos, que el que emplean en atravesar la intersección.

Definición (Tiempo de recorrido)

Tiempo de recorrido es el tiempo que pasa un vehículo en movimiento cuando se desliza entre dos puntos fijos de la vía.

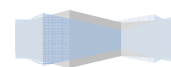
Definición (Tiempo de demora)

Tiempo de demora es el tiempo que pasa un vehículo detenido cuando se desliza entre dos puntos de la vía.

2.2- Relación entre los parámetros fundamentales

Entre las características del tráfico estudiadas antes existen relaciones que permiten deducir una de ellas a partir de los valores de las otras. Algunas de estas relaciones se deducen de su propia definición, mientras que otras se han obtenido de forma empírica a partir de numerosos datos recogidos en estudios reales.

Estas relaciones son muy utilizadas en estudios de tráfico. Así, cuando se proyecta una nueva vía o se estudia el acondicionamiento de una existente, para la que se ha determinado la intensidad de tráfico que circulará por ella, se podrá estimar la velocidad de los vehículos correspondiente a esta intensidad a partir de una relación velocidad/ intensidad determinada en una vía de características análogas.





En lo que sigue se supone que los vehículos se mueven a lo largo de un tramo vía, sin interrupciones en la circulación. Por consiguiente, si los vehículos llegan a detenerse, será debido a las propias circunstancias del tráfico y no a factores externos, como podrían ser las indicaciones de un semáforo.

Al estudiar las distribuciones de velocidad se hizo notar la diferencia entre la distribución obtenida midiendo las velocidades al pasar los vehículos por un punto fijo (distribución temporal) y la obtenida al medir las velocidades en un momento dado (distribución espacial).

Al considerar un grupo de vehículos que se mueven a velocidad aproximadamente constante su espaciamiento promedio y su intervalo promedio se pueden relacionar, usando la relación básica $\text{espacio} = (\text{velocidad}) \cdot (\text{tiempo})$, mediante $s = v_e \cdot h$. (11)

También el flujo de tráfico puede definirse en términos de sus tres variables intensidad (I), velocidad (v) y densidad (k). Por las ecuaciones (3) y (8) sabemos que $h = 1/I$ y $s = 1/k$. Reemplazando los dos valores en la ecuación (11) queda:

$$\frac{1}{K} = V_e \cdot \frac{1}{I} \Rightarrow I = V_e \cdot K \quad (12)$$

Ejemplo:

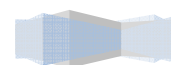
En un punto de una vía se contaron 105 vehículos en 15 min. Al lado del punto anterior y en una distancia de 50 m de longitud se cronometraron los tiempos tomados en recorrer los 50 m para una muestra de 30 vehículos dando los siguientes valores: 7 vehículos emplearon 2.0 s, 9 vehículos emplearon 2.5 s, 8 vehículos emplearon 2.8 s y 6 vehículos emplearon 3.0 s. Se quiere calcular la intensidad, el intervalo promedio, la velocidad media espacial, la densidad y el espaciamiento promedio.

Solución

i) La intensidad se calcula como $I = N/T = 105/15 = (7 \text{ veh/min}) \cdot 60 \text{ min} = 420 \text{ veh/h}$

ii) El intervalo promedio h se aproxima mediante $1/I = (1/420 \text{ veh/h}) \cdot (3600 \text{ s/h}) = 8.57 \text{ s/veh}$.

iii) La velocidad media espacial es





$$V_e = \frac{d}{t} = \frac{d}{\frac{\sum_{i=1}^N f_i t_i}{N}} = \frac{50}{\frac{7*2 + 7*2.2 + 8*2.8 + 6*3}{30}} \left[\frac{1}{1000} \right] \left[\frac{3600}{1} \right] = 70.2 \text{ km/h}$$

iv) La densidad K se obtiene de la ecuación $K=I/V_e$ como

$$K = \frac{I}{V_e} = \frac{420 \text{ veh/h}}{70.2 \text{ km/h}} = 5.98 \text{ veh/km} \approx 6 \text{ veh/km}$$

v) El espaciamiento promedio es

$$S = \frac{1}{K} = \frac{1}{5.98 \text{ veh/km}} = 0.16722408 \text{ km} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 167.22 \text{ m/veh}$$

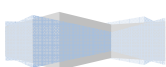
2.2.1- Relación velocidad-densidad

Basándose en unas consideraciones sencillas, es fácil ver qué tipo de relación puede existir entre la velocidad media de los vehículos y la densidad de tráfico. Evidentemente, si la densidad fuera muy pequeña, casi nula, los pocos vehículos que estuvieran en la vía podrían circular muy separados y llevar la velocidad que quisieran sin que ningún otro les interfiriera.

En estas condiciones, la velocidad de los vehículos podría ser tan alta como lo permitieran las características de la vía y del propio vehículo. Con densidades mayores, los vehículos tendrían más dificultades para mantener la velocidad deseada porque encontrarían con cierta frecuencia vehículos más lentos delante de ellos que les impedirían mantener su velocidad.

Por tanto al aumentar la densidad de tráfico la velocidad media disminuye. En el límite, cuando se alcance la densidad máxima (es decir, cuando la vía esté totalmente ocupada por vehículos, parachoques contra parachoques) será absolutamente imposible mover un vehículo sin golpear al que le precede, y la velocidad de todos los vehículos será igual a cero. La velocidad media resulta así una función de la densidad que alcanza un valor máximo cuando la densidad es casi cero, y disminuye constantemente al aumentar la densidad hasta llegar a anularse cuando la densidad de tráfico alcanza su valor máximo.

Esta función variará de unas vías a otras, pero indudablemente la influencia del tipo de vía será mayor cuando la densidad es baja; en estas condiciones ya se vio que la velocidad no depende de otros vehículos, sino exclusivamente de las



características de la vía. Por el contrario, cuando la densidad es alta, los conductores deben preocuparse principalmente de los vehículos que les preceden, por lo que la velocidad dependerá más de las condiciones del tráfico que de las de la vía. Si se representa la variación de la velocidad media en función de la densidad de tráfico (midiéndola en veh/km y carril, para evitar la influencia de la ancho de la vía), se obtienen curvas como las de la Fig. 8, en las que las mayores variaciones entre tipos de vías se producen en las zonas de baja densidad.

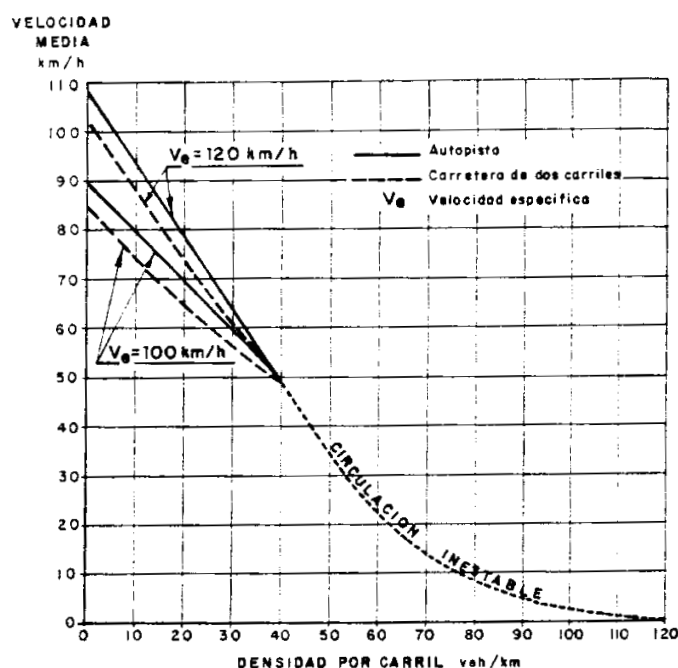
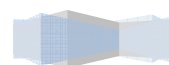


FIG. 8 RELACION VELOCIDAD-DENSIDAD

2.2.2-Relación intensidad-densidad

Teniendo en cuenta la relación básica entre intensidad, densidad y velocidad media $I = V_e \cdot K$ y la relación existente entre velocidad y densidad, se puede deducir la relación que existe entre intensidad y densidad. Cuando la densidad sea nula, también lo será la intensidad, y cuando la densidad alcance su valor máximo, por anularse la velocidad media, se anulará también la intensidad. Entre ambos extremos, la intensidad tendrá valores positivos, y por consiguiente debe alcanzarse un valor máximo de la intensidad. Representando la intensidad en función de la densidad. Resultan funciones convexas con un máximo para un cierto valor de la densidad, como las representadas en la Fig. 9. Como en el caso

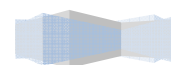
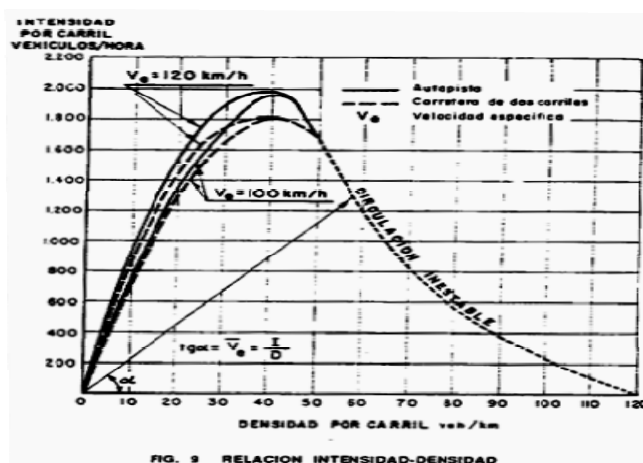


de la relación velocidad- densidad, estas curvas serán diferentes para las distintas vías, presentándose mayores diferencias en la zona de baja densidad, mientras que serán similares en la zona cercana a la densidad máxima.

El hecho de que exista un valor máximo que la intensidad puede asumir en una vía es de gran importancia. Este valor máximo se conoce como capacidad de la vía, y la densidad para la que se obtiene se llama densidad crítica. Cada valor de la intensidad, menor que la capacidad, se obtiene para dos valores distintos de la densidad, uno menor que la densidad crítica y otro mayor.

El funcionamiento del tráfico es completamente distinto en ambos casos. Cuando la densidad es menor que la crítica, el tráfico se mantiene relativamente fluido y estable, en el sentido que si se produce alguna pequeña perturbación que aumente momentáneamente la densidad de tráfico, tiende a disiparse y a volver a la situación anterior. Por el contrario, cuando la densidad es superior a la crítica, las perturbaciones tienden a producir un empeoramiento de la situación que puede llegar a la detención total del tráfico. Por ello, los puntos de la rama ascendente del diagrama corresponden a condiciones de tráfico que se pueden considerar aceptables, ya que los vehículos se mantienen moviéndose a una velocidad que, aunque no sea la deseable, no sufrirá excesivas variaciones. Por el contrario, los puntos de la rama descendente corresponden a una circulación inestable en que se producen constantemente paradas y avances, y las velocidades oscilan entre cero y valores siempre reducidos.

En el diagrama que representa la intensidad en función de la densidad puede obtenerse para cualquier punto la intensidad (ordenada), densidad (abscisa) y velocidad media (pendiente de la recta que une el origen con el punto en cuestión).



2.2.3- Relación velocidad-intensidad

Esta relación es mucho más sencilla de obtener en la práctica, ya que es más fácil medir velocidades e intensidades que densidades. Además, la intensidad de tráfico es una magnitud que define la demanda de tráfico en la vía, y es por tanto un dato básico, mientras que la velocidad es la magnitud que mejor define el funcionamiento de la circulación desde el punto de vista de los conductores. Frecuentemente el problema será deducir las condiciones de tráfico (que pueden definirse por la velocidad), conociendo la demanda de tráfico (definida por la intensidad). Esto hace que las relaciones velocidad- intensidad tengan una importancia práctica mucho mayor que las otras relaciones, y que hayan sido objeto de numerosos estudios empíricos, mientras que las relaciones intensidad-densidad y velocidad-densidad hayan sido estudiadas principalmente desde el punto de vista teórico.

Como en el caso de la curva intensidad- densidad, se presentan dos velocidades distintas para cada valor de la intensidad, una relativamente elevada, y otra menor (Fig. 10). La parte superior de la curva corresponde a una circulación libre y estable, mientras que la parte inferior corresponde a una circulación congestionada e inestable. Comparando las curvas correspondientes a distintas vías, se observa que difieren apreciablemente en la parte superior (velocidades altas), mientras que son parecidas en la parte inferior. La rama superior de la curva es la más interesante a efectos prácticos, ya que la rama interior corresponde a condiciones inaceptables, puede considerarse aproximadamente lineal, variando su inclinación y ordenada en origen de unas vías a otras.

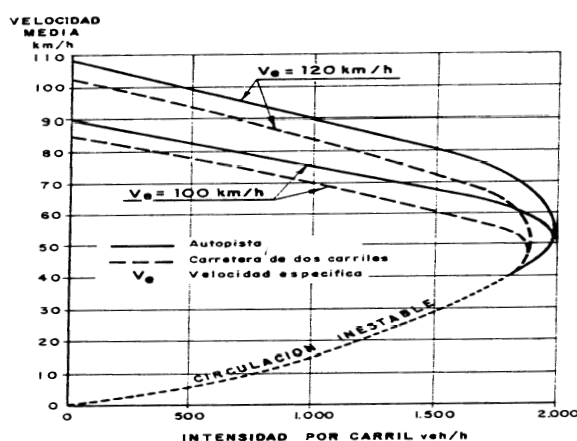
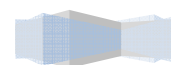


FIG. 10 RELACION VELOCIDAD-INTENSIDAD





2.3- Modelos de simulación de tráfico

Un modelo nos sirve para representar un fenómeno, en función de un propósito, existen diferentes modelos que describen el tráfico vehicular tomando algunas de sus características y nos dan aproximaciones matemáticas con cierto grado de apego a la realidad. Estos modelos son llevados a la simulación, elaborando un programa de cómputo que se comporte como el fenómeno físico, y así analizar y probar el modelo.

2.3.1- Clasificación de modelos de tráfico vehicular

Debido a la gran variedad de modelos de tráfico vehicular existentes es necesario clasificarlos, existen varios criterios por los cuales podemos clasificar un modelo de tráfico vehicular. Los modelos son clasificados según los siguientes criterios:

1. Según el nivel de detalle con que se describen las entidades en los modelos de tráfico vehicular estos pueden ser clasificados en:

a. Macroscópicos

Estudia el comportamiento de los vehículos a gran escala, estos tipos de modelos describen el tráfico como un flujo de automóviles, sin tomar en cuenta las partes que lo componen que en este caso serían los automóviles de forma individual, sólo es visto en conjunto, son modelos continuos que hace uso de ecuaciones diferenciales, se enfocan en captar las relaciones globales de flujo de tráfico. Los tres parámetros macroscópicos principales que describen el flujo vehicular son: Velocidad de los vehículos, intensidad y la Densidad de tráfico.

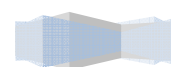
b. Microscópicos

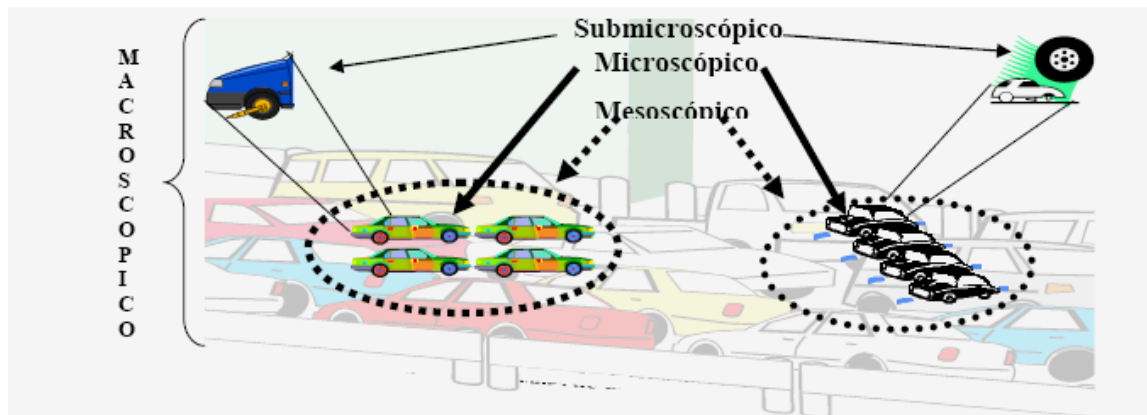
Describe el comportamiento del flujo de tráfico vehicular con gran detalle a través del comportamiento de conductores y los automóviles vistos como entidades discretas individuales y atómicas que interactúan unas con otras, así como sus interacciones a un nivel alto de detalle. Son modelos por lo general discretos entre estos modelos se incluyen el modelo de carro siguiente (Car-Following) y modelos de autómatas celulares.

c. Mesoscópicos

En los modelos mesoscópicos se estudian los autos por grupos, se clasifican de acuerdo a sus velocidades y se obtienen tipos de autos que se pueden estudiar de forma individual, las actividades e interacciones se describe a un nivel de detalle bajo.

La siguiente ilustración muestra una forma sencilla para comprender la clasificación de los modelos según su nivel de detalle.





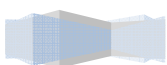
2. Según el criterio de escala de variables independientes y de acuerdo al modo en que evolucionan sus variables en las escalas de tiempo.
 - a. Continuo si las variables cambian de modo continuo en función del tiempo
 - b. Discreto si las variables varían en un conjunto contable de instantes de tiempo.
3. Según la forma de representación del proceso
 - a. Determinístico si la representación no contiene variables aleatorias y todas sus variables se definen mediante relaciones exactas.
 - b. Estocástico si contiene al menos una variable no determinista.
4. Según el área de aplicación, por ejemplo el modelo podría describir la dinámica de los vehículos en un sólo carril con un sentido de flujo, con intersecciones en una red de la vía, etc.
5. Según el uso, por ejemplo el modelo podría ser usado para una simulación o como solución analítica de un grupo de ecuaciones.

2.3.2- Algunos modelos de enfoque macroscópico

Los modelos macroscópicos se derivan de la analogía entre el flujo vehicular y un flujo continuo de fluido o gas. Considera el tráfico vehicular como un flujo de vehículos y desarrolla algoritmos que relacionan el flujo, con la densidad y la velocidad. Los modelos más importantes de este tipo son:

2.3.2.1- Modelo lineal de Greenshields

Greenshields desarrolló uno de los primeros modelos que se conocen, en este se estudia la relación entre la velocidad y densidad, también entre la velocidad y la intensidad. Postuló que existe una relación lineal decreciente entre la velocidad y la densidad.



La siguiente figura nos muestra la curva generada de la velocidad en contra la densidad.

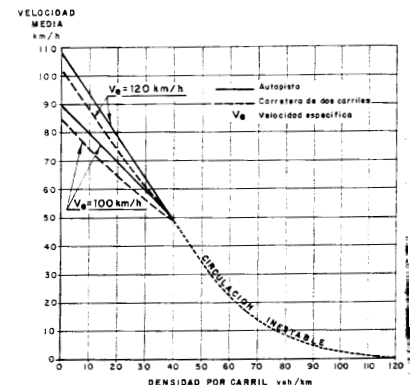
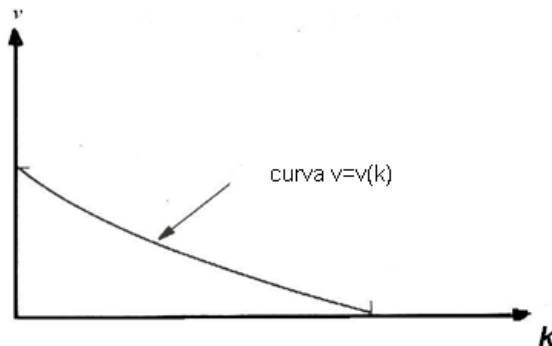


FIG. 8 RELACION VELOCIDAD-DENSIDAD

Gráfica velocidad/densidad

En la figura podemos observar como el automóvil mantiene una velocidad máxima cuando la densidad es mínima, y mientras más aumenta la densidad se va disminuyendo la velocidad. Hecho que puede ser confirmado intuitivamente, cuando pensamos que un grupo de vehículos que viaja a mayor velocidad, viaja más disperso, los vehículos conservan mayor distancia entre ellos y cuando la velocidad de estos vehículos disminuye, los vehículos se van juntando más, porque el avance es más lento. Por lo tanto a mayor velocidad menor densidad, y viceversa a menor velocidad mayor densidad.

La ecuación fundamental del modelo es:

$$V_e = V_l \left(\frac{V_l}{K_c} \right) K$$

Dónde:

V_e : Es la velocidad media espacial

K : Es la densidad

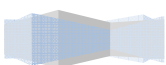
V_l : Velocidad media espacial a flujo libre

K_c : Densidad de congestión según la capacidad de la vía

2.3.2.2- Modelo logarítmico de Greenberg

No siempre existe una relación lineal entre la velocidad y la densidad como se ve del diagrama fundamental. El modelo de Greenberg logra un mejor ajuste ya que toma en cuenta la curvatura de los datos cuando k se acerca a k_c , esto es en condiciones de flujo congestionado. Pero no funciona muy bien a bajas densidades debido a que cuando K tiende a cero la velocidad se hace tan grande que puede llegar a ser infinita.

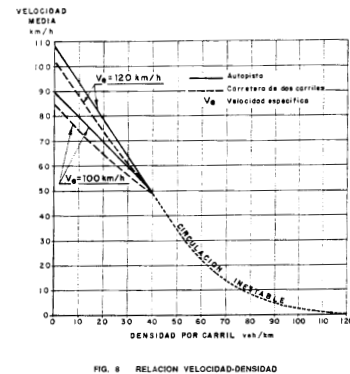
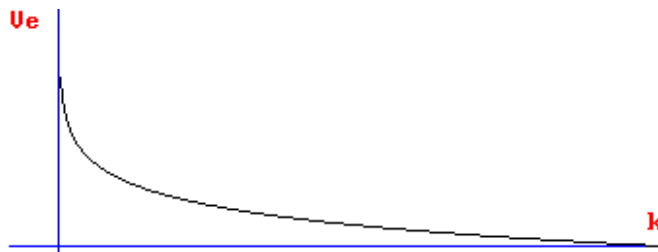
La ecuación de este modelo está dada como:



$$V_e = V_m \ln \left(\frac{K_c}{K} \right)$$

En esta ecuación se conserva la notación del modelo de Greenshields, además:
 V_m : Es la velocidad del flujo máximo sobre la capacidad de la vía.

Veamos la gráfica de este modelo con relación al diagrama fundamental Densidad-Velocidad



Como podemos observar la aplicación del modelo es válida cuando hay alta densidad de vehículos en la vía. La grafica del modelo fue creado con derive (programa para graficar), para ver la relación y así relacionarlo con el diagrama fundamental de tráfico velocidad-densidad

2.3.2.3- Modelo exponencial de R. T. Underwood

La formulación de este modelo busca representar más fielmente el comportamiento del flujo libre.

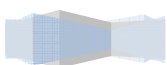
Este modelo no refleja la velocidad igual a cero para las altas densidades -que sería la condición de congestionamiento- por esta razón los parámetros del modelo son la densidad a intensidad máxima (K_m) y la velocidad a flujo libre (V_l)

Siguiendo con la notación de los modelos anteriores, sus ecuaciones Fundamentales son:

$$V_e = V_l e^{-\frac{K}{K_m}}$$

$$I = V_l e^{-\frac{K}{K_m}}$$

Veamos el comportamiento de este modelo en relación al diagrama fundamental de Densidad-Velocidad



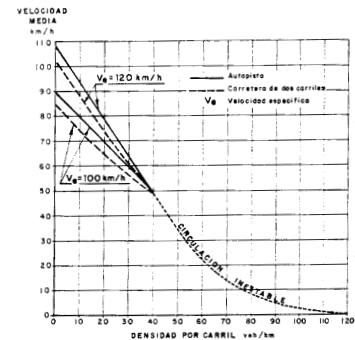
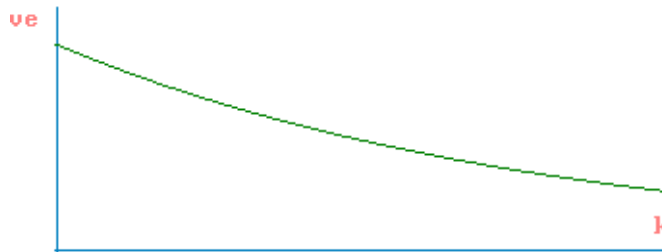


FIG. 8 RELACION VELOCIDAD-DENSIDAD

Aquí en esta comparación de gráfica observamos que este modelo es verdadero para bajas densidades en la vía es decir en una vía donde no pasan muchos vehículos

Ahora veamos la grafica(intensidad-velocidad) del modelo **logarítmico de Greenberg** en relacion al diagrama fundamental Intensidad-Velocidad

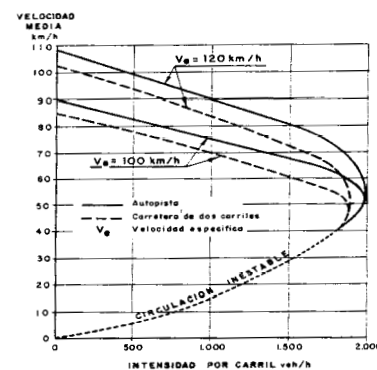
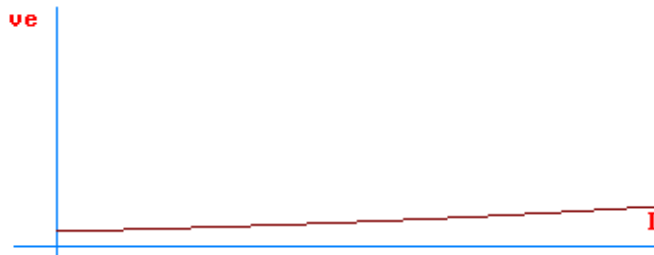


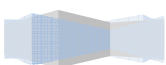
FIG. 10 RELACION VELOCIDAD-INTENSIDAD

Al hacer la comparación entre la graficas del modelo (grafica construida con derive), con la gráficas de los diagramas fundamentales velocidad-densidad y intensidad-densidad observamos que resulta verdadero el comportamiento del modelo para densidades altas, donde la velocidad y la intensidad es baja es decir para vías congestionadas.

2.3.3- Modelos de enfoque microscópico

2.3.3.1- Autómata celular (AC)

Los AC son sistemas dinámicos discretos en todas sus componentes: espacio, tiempo y variables de estado. Los AC son útiles para modelar fenómenos dinámicos complejos, que se modelan normalmente a través de ecuaciones en derivadas parciales, evolucionan en el tiempo en base a reglas locales, éstos describen los sistemas de tráfico como una malla de células de igual tamaño. El tamaño de las células es escogido de tal forma que un vehículo con velocidad igual a otro se puede mover a la próxima célula durante un paso de tiempo

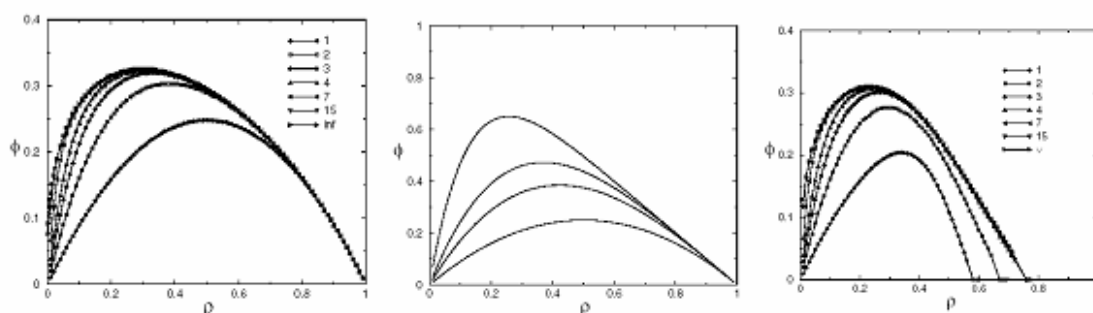


discreto. Aplicados en la modelación del tráfico vehicular, los AC se plantean como un paradigma de modelación microscópico alternativo al convencional (macroscópico) que se basa en la especificación de ecuaciones diferenciales en un contexto continuo. Los modelos basados en AC permiten representar las interacciones entre los vehículos individuales y relacionar esta interacción a mediciones macroscópicas como el flujo vehicular, el tiempo de viaje y la velocidad promedio. El vehículo puede asumir una velocidad que va de un rango de valores discretos de cero a velocidad máxima.

2.3.3.2- Modelo de Nagel-Schreckenberger

Este es uno de los tantos modelos basados en la conocida relación parabólica entre la intensidad I y densidad K . Esta relación que tiene a la velocidad como tercera variable, podríamos considerarla como la más importante en cualquier análisis de tráfico vehicular, y a menudo es escrita así: $I = KV$

Pero dado que la velocidad es un parámetro que puede variar según muchos aspectos en una vía, los modelos de tráfico pueden determinar diferentes familias de curvas según el caso y las leyes que lo rijan, como se ve en el siguiente ejemplo:

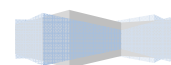


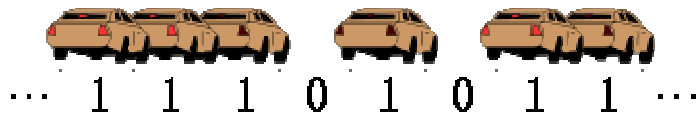
Variación de las familias de curvas I vs K , con la velocidad como parámetro. En el mismo modelo, variaciones “microscópicas” sobre el comportamiento de un vehículo frente a estímulos, deforman la parábola original del modelo básico.

2.3.4- Modelos para mover los vehículos

2.3.4.1- Regla 184

Según esta regla un vehículo avanza una celda si la siguiente está vacía y no avanza si la celda siguiente está ocupada.





Cada 1 en la celda corresponde a un vehículo y cada vehículo se mueve hacia adelante solo si tiene abierto un espacio (un cero) enfrente de él.

La regla 184 es una regla autómatas celular binaria unidimensional notable por resolver una cantidad de problema como también por su habilidad para describir simultáneamente varias sistemas de partículas aparentemente diferentes.

La regla 184 puede ser usada como un simple modelo de flujo de tráfico en un solo carril de una vía, forma las bases para muchos modelos autómatas celulares de flujo de tráfico. En este modelo, las partículas (representan los vehículos) se mueven en una sola dirección, disminuyendo o aumentando su velocidad respecto al vehículo que este adelante. El número de partículas permanecen constantes a través de la simulación, debido a esta aplicación la regla 184 es llamada la regla de tráfico.

Un estado de la regla 184 consiste en un conjunto unidimensional de celdas, cada una contiene el valor binario (0 o 1). En cada paso de su evolución aplica la siguiente regla para cada celda del conjunto para determinar el nuevo estado de la celda

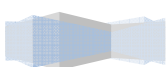
modelo actual	111	110	101	100	011	010	001	000
Nuevo estado para el centro de la celda	1	0	1	1	1	0	0	0

Una entrada en esta tabla define el nuevo estado de cada celda como una función del estado previo y los valores previos de las celdas vecinas a cada lado.

El nombre de esta regla está dado por el código Wólffram de la segunda fila de la tabla anterior 10111000, el cual como un binario equivale al número 184,

Esta regla puede ser descrita intuitivamente de muchas maneras diferentes

- En cada paso, donde quiera que exista un estado inicial de 1 seguido de 0 estos dos símbolos cambian de posición. Basado en esta descripción krug and Spohn (1984) llamaron a esta regla una versión determinística del “modelo cinético de Ising con una dinámicas de intercambios asimétrica de giros”



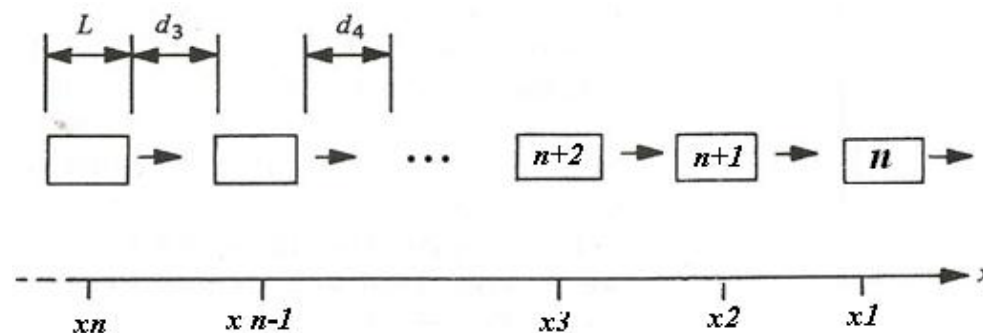


- En cada paso, si una celda con valor 1 tiene una celda con valor 0 inmediatamente a su derecha entonces esa celda (1) avanza un espacio hacia la derecha dejando el 0 detrás, un 1 con otro 1 a su derecha conserva su posición, mientras un 0 que no tiene un 1 a su izquierda permanece en 0.
- Si una celda tiene estado 0, su nuevo estado es tomado por la celda que está a la izquierda, de lo contrario su nuevo estado será tomado por la celda de la derecha

Si interpretamos la regla 184 cada celda 1 como conteniendo una partícula, estas partículas se comportan de muchas maneras similarmente a vehículos en una única vía. Ellos se mueven hacia adelante a una velocidad constante si hay un espacio abierto delante de ellos en caso contrario se detienen. Modelos de tráfico tal como la regla 184 y sus generalizaciones que discretizan ambos espacios y tiempo son generalmente llamados modelos de partículas saltando. Aunque muy primitiva la regla 184 ya predice algunos de los rasgos conocidos del tráfico real: agrupaciones de vehículos moviéndose libremente separados por tramos de carretera abiertos cuando el tráfico es ligero y oscilando de paradas y arranques cuando el tráfico es pesado. Resulta difícil localizar con precisión el primer uso de esta regla para la simulación de tráfico, en parte porque el foco de investigación en esta área requiere menos de grandes niveles de abstracción matemática y más en verosimilitud: aun cuando en los primeros artículos de simulación de tráfico basado en autómatas celulares típicamente hacen más complejo el modelo a fin de obtener más exactitud al tráfico real simulado.

2.3.4.2- Modelo “car-following”(sigue al lider)

Fue desarrollado buscando estimar el comportamiento de dos vehículos en un flujo de tráfico. Es decir, estimar la respuesta del vehículo con respecto al comportamiento del vehículo que viaja adelante (vehículo predecesor). Describen la aceleración de coches “seguidores” como funciones de la distancia entre el líder y el seguidor, la velocidad relativa de los dos coches, y el tiempo de la reacción del conductor del coche seguidor. La figura 2.3 nos muestra un grupo de autos con distancias entre ellos $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ su ubicación $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ en el modelo de el carro siguiente son utilizadas estas mediciones además de la velocidad que lleva cada automóvil.



Autor: Ismael Cárdenas López | Tutor: Ramiro Cáceres Espinoza

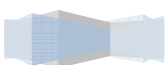




Figura 2.3 Componentes del modelo Car-Following

La ecuación básica de los modelos Car-Following para una línea de tráfico está dada en la ecuación

Respuesta = Sensibilidad * estímulo

Esta es la ecuación fundamental para el diseño, y representa la ocurrencia de un hecho como estímulo que percibe un conductor y que lo anima a actuar, ya que dependiendo del grado de sensibilidad o advertencia del conductor en ese instante, se produce una reacción un instante después.

La respuesta está siempre representada por la aceleración o desaceleración del vehículo siguiente y el estímulo puede ser la distancia entre el vehículo siguiente y el vehículo de en frente, la velocidad relativa entre los dos carros o la aceleración relativa. La respuesta dependerá de la sensibilidad del conductor a un estímulo dado. La respuesta se tomará como la aceleración o desaceleración de los vehículos siguientes, denotado aquí por $d^2 x_f / dt^2$, mientras que el estímulo se tomará como la diferencia entre la velocidad del vehículo precedente dx_1 / dt y la velocidad del vehículo que lo sigue dx_f / dt .

3 - SISTEMA DE COLAS

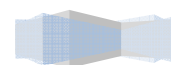
Estudiamos sistemas de colas porque usamos las medidas de rendimiento de un sistema de colas, para medir el desempeño del tráfico en los semáforos de la ciudad de León.

Un sistema de colas es un sistema en el que los clientes llegan a una estación de servicio, esperan en una cola, obtienen algún servicio, y luego salen del sistema o pasan a otra cola.

3.1- Características de un sistema de colas

3.1.1-Proceso de llegada

Se refiere a la forma en cómo los clientes llegan al sistema. La mayoría de las veces las llegadas ocurren aleatoriamente e independientes entre si, así que se describen por variables aleatorias. El proceso de llegada puede caracterizarse





desde dos puntos de vista:

- Definiendo la variable discreta x como el número de clientes que llegan al sistema por período de tiempo. Casi siempre se asume que esta se distribuye Poisson con parámetro λ (promedio de clientes que llegan al sistema por período de tiempo).
- Definiendo la variable continua T como el tiempo entre dos llegadas consecutivas. Casi siempre se asume que esta se distribuye exponencial con el parámetro λ definido antes.

Cuando no se justifica el asumir una distribución exponencial se puede asumir también una distribución Erlang.

Las características de la distribución de una variable se denotan mediante los siguientes símbolos

- M: variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas exponenciales.
- D: cantidades determinísticas.
- E_k : variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas Erlang con parámetro k .
- G: variable aleatoria regida por alguna distribución general.

3.1.2- Proceso de cola

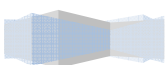
Se refiere a la forma en como los clientes esperan a que se les de el servicio.

Distinguimos sistema de colas en una sola linea y sistema de colas con lineas múltiples.

3.1.3- Proceso de servicio

Se refiere a la forma y rapidez con la que es atendido un cliente. A su vez el se caracteriza por:

Disciplina de colas del sistema





Es la forma en como los clientes son elegidos para brindarles el servicio. Algunas son:

- FCFS: Primero en llegar primero en ser servido.
- LCFS: Último en llegar primero en ser servido.
- SIRO: Elección al azar del cliente que pasa a ser servido.
- GD: Alguna disciplina general de lineas de espera.

Número de canales del sistema

Un sistema de colas se llama de un solo canal cuando los clientes que llegan pasan por una sola estación de servicio.

Un sistema de colas se llama de canal múltiple cuando los clientes que llegan pueden pasar por una cualquiera de varias estaciones de servicio.

Tiempos de servicio

Es el tiempo que toma al servidor atender a un cliente. En la mayoría de los casos se asume que el tiempo de servicio sigue una distribución exponencial.

3.1.4- Proceso de salida

Se refiere a la forma en la que los clientes abandonan el sistema.

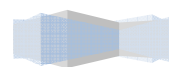
Consideramos sistemas en los cuales los clientes abandonan el sistema después de ser atendidos y aquellos en los que los clientes después de ser atendidos pasan a otra cola.

3.2- Notación de kendall-lee para sistemas de colas

Cada sistema de colas se describe según seis de sus características asignándole un nombre con la forma 1/2/3/4/5/6 donde:

1: describe la naturaleza del proceso de llegadas.

2: describe la naturaleza del proceso de servicio.





- 3: es la cantidad de canales de servicio
- 4: describe la disciplina de colas del sistema
- 5: es la cantidad máxima de clientes que soporta el sistema.
- 6: tamaño de la población de donde provienen los clientes

3.3-Características de operación de un sistema de colas

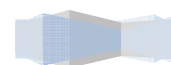
- Probabilidad de no encontrar otros clientes en el sistema cuando se llega, P_0 .
- Probabilidad de que un cliente al llegar tenga que esperar por el servicio, P_w
- Probabilidad de encontrar n otros clientes en el sistema cuando se llega, P_n .
- Número promedio de clientes en el sistema, L .
- Número promedio de clientes en la cola, L_q .
- Tiempo promedio que gasta un cliente en el sistema, W .
- Tiempo promedio que gasta un cliente en la cola, W_q .
- Intensidad de tráfico o factor de utilización, ρ

3.4-Algunos sistemas de colas

3.4.1- Sistema de colas M/M/1/GD/ ∞/∞

En este modelo los clientes que llegan forman una sola cola y son atendidos por un solo servidor.

Características de este modelo.





- Los clientes que llegan son atendido con una política primero en llegar primero en ser atendido (PEPS) y cada llegada espera a ser atendido sin importar la longitud de cola.
- Las llegadas son independientes de las llegadas anteriores, pero el promedio de llegadas no cambia con el tiempo.
- Las llegas son descrito mediante la distribución de probabilidad de Poisson y proceden de una población muy grande ó infinita.
- Los tiempos de servicio varían de un cliente a otro, y son independiente entre sí, pero su tasa promedio es conocida.
- Los tiempos de servicio se representa mediante distribución de probabilidad exponencialmente negativa.
- La tasa de servicio es más rápida que la tasa de llegadas.

Las medidas de rendimiento de este sistema son como sigue:

$$p_0 = 1 - \rho$$

$$p_w = \rho$$

$$p_n = (1 - \rho)\rho^n$$

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$W = \frac{1}{\mu(1 - \rho)}$$

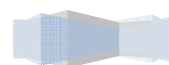
$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$$

3.4.2-Sistema de colas M/M/s/GD/ ∞/∞

En este modelo dos ó más servidores están disponibles para atender clientes que llegan.

Características





- Los clientes forman una sola cola y se les atiende de acuerdo al servidor que queda libre.
- Asumimos que las llegadas siguen una distribución de probabilidad de Poisson y los tiempos de servicios son distribuidos exponencialmente.
- Los servicios se los hacen de acuerdo a una política primero en llegar, primero en ser atendidos (PEPS) y todos los servidores tienen la misma tasa.

Las medidas de rendimiento de este sistema son como sigue:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{s-1} \frac{(\rho)^i}{i!} + \frac{\rho^s s}{s!(s-\rho)}}$$

$$p_n = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} p_0, & n \leq s \\ \frac{\rho^n}{s! s^{n-s}} p_0, & n > s \end{cases}$$

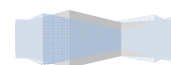
$$p_w = \frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)} p_0$$

$$L_q = \frac{\rho^{s+1}}{(s-1)!(s-\rho)^2} p_0$$

$$W_q = \frac{\rho^{s+1}}{\lambda (s-1)!(s-\rho)^2} p_0$$

$$L = \frac{\rho^{s+1}}{(s-1)!(s-\rho)^2} p_0 + \rho$$

$$W = \frac{\rho^{s+1}}{\lambda (s-1)!(s-\rho)^2} p_0 + \frac{1}{\mu}$$





4- SIMULACIÓN DE TRÁFICO

La segunda parte de este trabajo trata con la simulación del tráfico vehicular en los semáforos de la ciudad de León.

4.1-La red de tráfico

La red de tráfico en el ámbito de cada semáforo se sustituye por un grafo cuyos nodos representan las esquinas de las vías y los arcos del grafo representan las vías de la red.

Daremos algunos significados de términos que se usan en los archivos para la simulación.

Vías: Es tomado como el trayecto que une dos esquinas o puntos llamados nodos, es decir es una recta que une a dos puntos distintos, donde los objetos (vehículos) se trasladan desde el punto inicial de la vía hasta el punto final de la vía.

Nodos: Es un punto $P(x, y)$, el cual representa una esquina de la red de tráfico

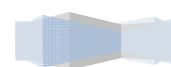
Giros: Es un par ordenado de vías, la primera de las cuales es la vía por donde vienen los vehículos y la segunda es la vía hacia donde se dirigen los vehículos.

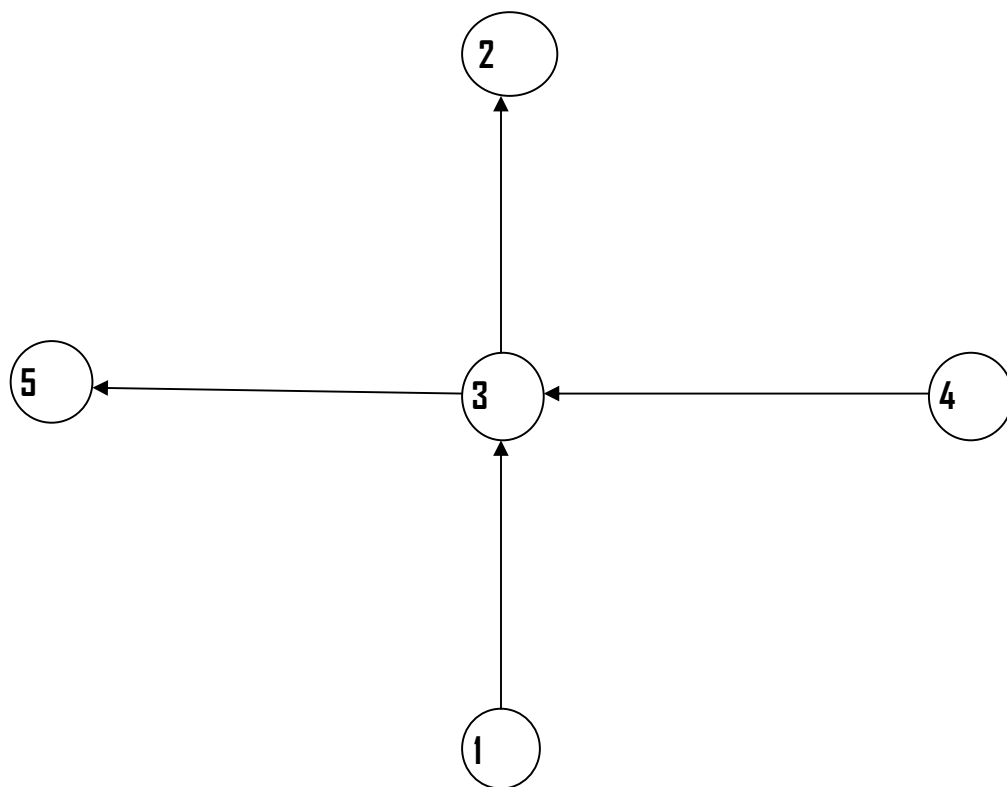
Semáforo: está concebido como un aparato que deja pasar e impide el tráfico en determinadas giros durante períodos establecidos de tiempo llamados fases. El tiempo que toma un cambio en la configuración de giros permitidos y prohibidos se llama tiempo de fase. En la simulación el semáforo se caracteriza por una lista de giros no permitidos asociados con cada fase del semáforo. Se considera que el semáforo solo tiene dos colores rojo y verde.

Los semáforos considerados en este trabajo son el semáforo del Bulevar Sutiava y el semáforo de la Casa CUUN, los otros semáforos no se tomaron porque no estaban funcionando

La red de tráfico en ambos sectores estudiados tiene la siguiente representación gráfica

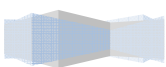
Semáforo Casa CUUN





Nodos:

nodos	Posición
1	Esquina Sur Casa CUUN
2	Esquina Norte Casa CUUN
3	Esquina Casa CUUN
4	Esquina Este Casa CUUN





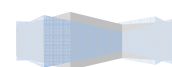
5	Esquina Oeste Casa CUUN
---	-------------------------

Vías

Vías de entrada	Vías de salida
Vía 1: va del nodo1 al nodo3	Vía 2: va del nodo 3 al nodo 2
Vía 4: va del nodo 4 al nodo 3	Vía 3: va del nodo3 al nodo 5

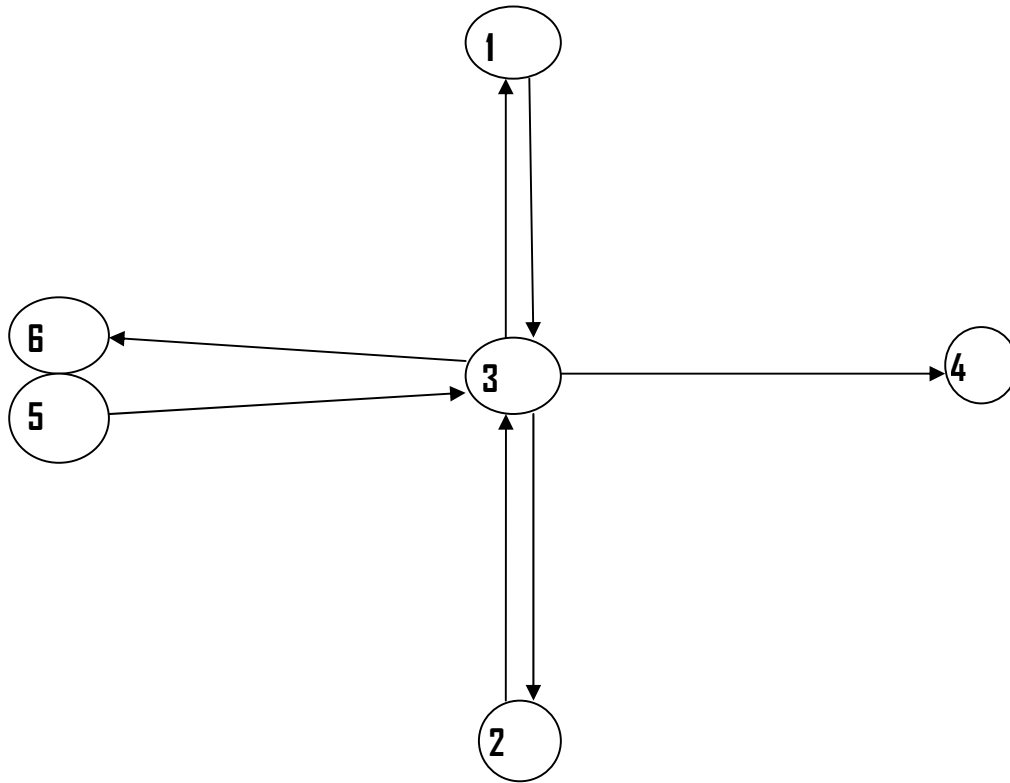
Giros

Posibles giros de la vía 1	Posibles giros de la vía 3
Vía 1-Vía 2	Vía 3-Vía 2
Vía 1-Vía4	Vía 3-Vía4



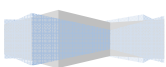


Semáforo Bulevar Sutiava



Nodos:

Nodos	Posición
1	Esquina Norte Banic Sutiava
2	Esquina Sur Banic Sutiava
3	Esquina Banic Sutiava
4	Esquina Este Banic Sutiava
5	Esquina Suroeste del Banic Sutiava
6	Esquina Noroeste Banic Sutiava





Vías:

Vías de entrada	Vías de salida
Vía 1: va del nodo 1 al nodo 3	Vía 2: va del nodo 3 al nodo1
Vía 3: va del nodo 2 al nodo 3	Vía 4: va del nodo 3 al nodo 2
Vía 6: va del nodo 5 al nodo3	Vía 5: va del nodo 3 al nodo 4
	Vía 7: va del nodo 3 al nodo 6

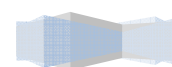
Giros

Posibles giros de la Vía 1	Posibles giros de la Vía 3	Posibles giros de la Vía 6
Vía 1-Vía 4	Vía 3-Vía 2	Vía 6-Vía 2
Vía 1-Vía 5	Vía 3-Vía 5	Vía 6-Vía 4
Vía 1-Vía 7	Vía 3-Vía 7	Vía 6-Vía 5

Trabajo de campos

La información recolectada en los trabajos de campo es:

- 1) En la primera visita a los semáforos
 - Número de vehículos que pasan por la vía.
 - Hacia donde giraban los vehículos una vez que salía de vía
 - Cuantos vehículos quedaban en la cola al final del periodo verde
 - Cuantos vehículos habían en la cola al final del periodo rojo e inicio del verde
- 2) En la segunda visita a los semáforos
 - Tiempo que tarda un vehículo en pasar por la vía.
 - El estado del semáforo (rojo o verde) cuando ingresa el vehículo a la vía.





- 3) Se tomaron las coordenadas de los nodos de la red del sitio de internet llamado www.mundivideos.com

4.2.-Entrada de la simulación

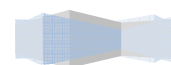
Para alimentar la simulación se usaron los siguientes archivos

- Un archivo llamado giros del semáforo, este archivo contiene lo que es la vía de origen (la vía por donde entra un vehículo hasta llegar al semáforo), la vía de destino (vía donde por donde sale una vez que el vehículo ya ha pasado el semáforo), y la frecuencias de giros tomadas como el número de vehículo que giraron hacia la vía de salida del giro (vía de destino) entre el número total de vehículos que llegaron por la vía de entrada.
- Un archivo llamado nodos del semáforo, este archivo contiene, un identificador de nodos con las coordenadas x e y que fueron extraída de www.mundivideos.com
- Un archivo llamado vía, este archivo contiene, un identificador de vía, con un nodo inicial y un nodo final, además contiene la tasa de entrada en la vía que es el número de vehículos que entraron y salieron de una vía de entrada más el número de vehículos que quedaron en la cola en el final del último periodo verde e inicio del último periodo rojo.
- Un archivo llamado dsemáforo, este archivo contiene, un identificador del nodo, el nodo que aparece es el nodo donde está ubicado el semáforo, también tenemos el tiempo de fase (el tiempo de fase es tiempo que tarda el semáforo en cambiar de luz verde a rojo), y por ultimo tenemos el número de fases que tiene el semáforo.
- Un archivo llamado psemáforo, este archivo contiene un identificador de fase, y las vías de inicio de los giros bloqueados durante cada fase.

4.3-Salida de la simulación

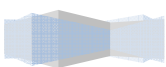
La información que proporciona la simulación es

- Un archivo llamado arimagen, este archivo contiene para cada momento de la simulación las coordenadas de todos los vehículos en la simulación en ese momento. Con el archivo arimagenes se alimenta un programa MATLAB diseñado adicionalmente que permite ver gráficamente el comportamiento del tráfico vehicular en cada semáforo.





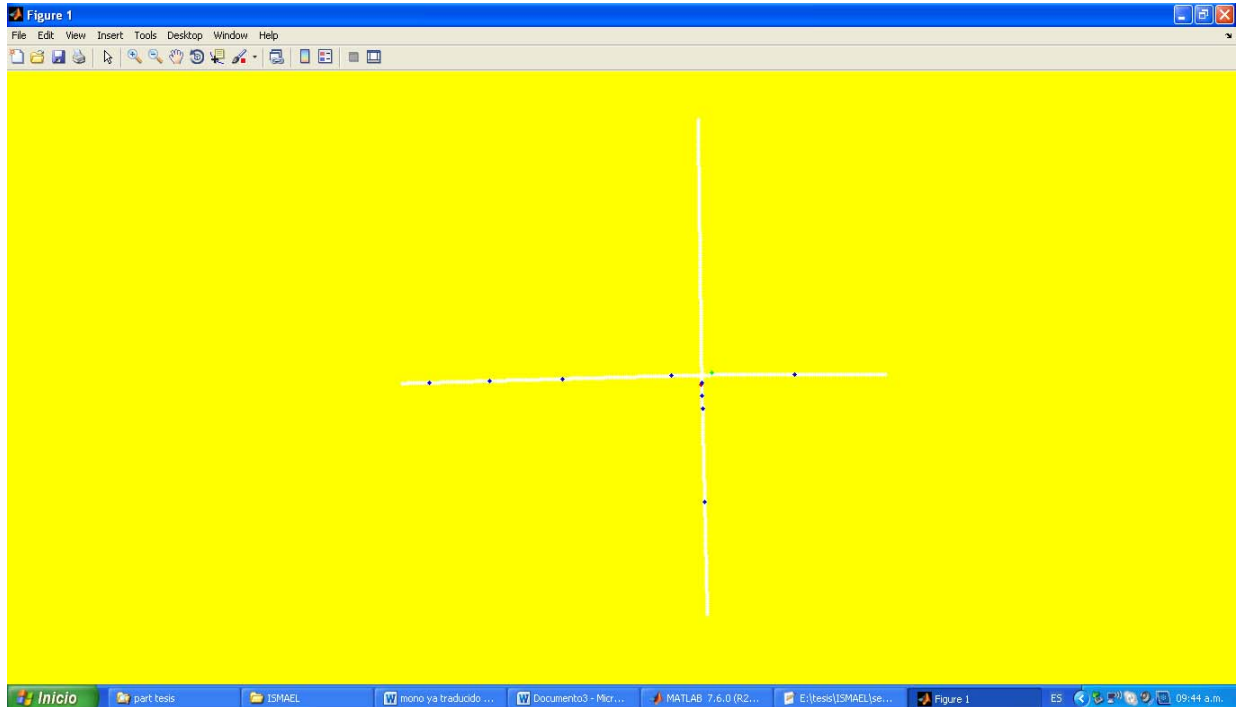
- Un archivo llamado veh_vía, este archivo contiene el número de vías que forman la red del semáforo (vías de entrada y vías de salida), otra información que tenemos dentro de este archivo es el tiempo en que llega un vehículo al semáforo, y por último tenemos cantidad promedio de vehículos en la vía.
- Un archivo llamado prob_est (probabilidad estado), este archivo contiene el tiempo con sus probabilidades desde p_0 hasta p_4 . Es decir la probabilidad p_0 , la probabilidad de que no haya vehículos en la vía, p_1 la probabilidad de que haya un vehículo en la vía, p_2 es la probabilidad de que haya dos vehículos en la vía, p_3 es la probabilidad de que haya tres vehículos en la vía, p_4 la probabilidad de que haya cuatro vehículos en la vía.



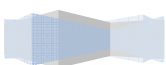


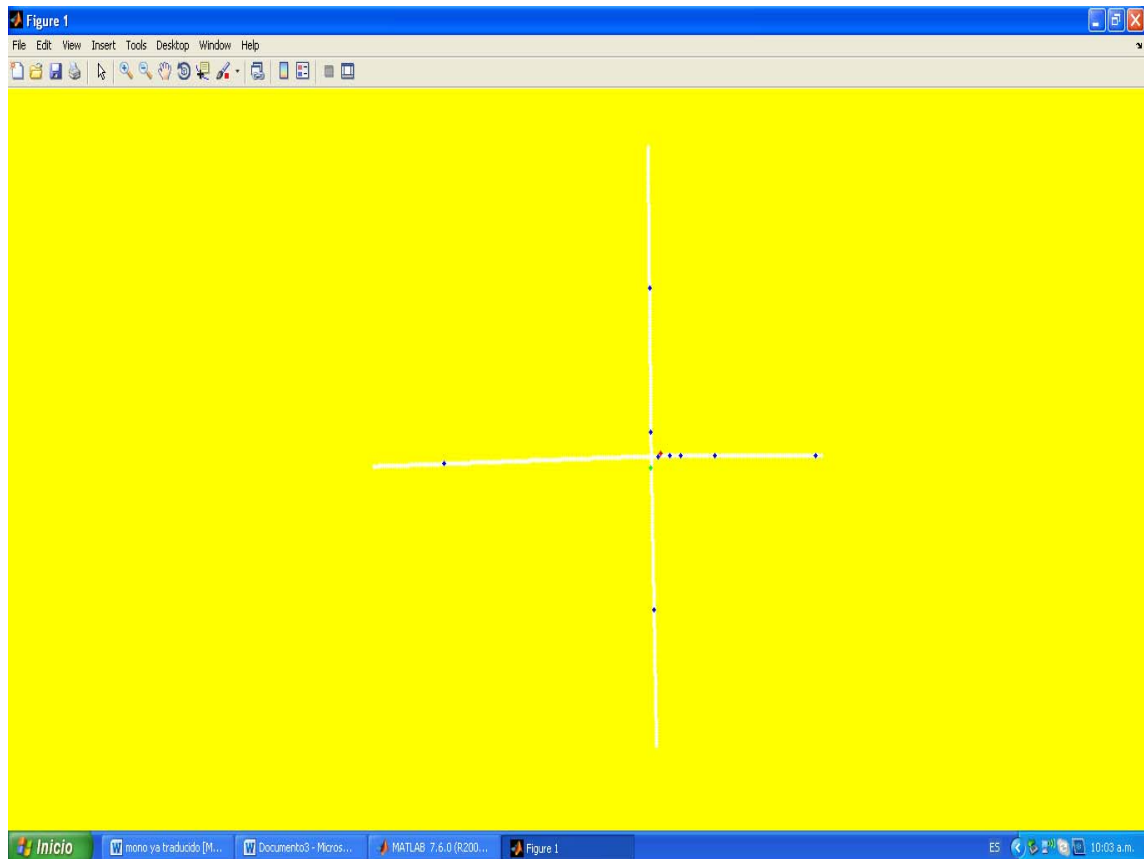
4.4- Representación de la simulación en MATLAB

Representación de la simulación de vehículos en la vía Semáforo del CUUN



Como podemos observar la vía 1, que es vía de entrada (la calle sur de semáforo), el semáforo esta en rojo y los vehículos que están representados por puntos azules, están haciendo cola o esperando cambio de luz del semáforo para salir de la vía 1 y tomar una vía de salida ya sea hacia la vía 2(calle norte del semáforo), o hacia vía 4(calle oeste del semáforo).





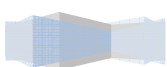
En esta imagen observamos que en la vía 3 (calle este del semáforo), hay tres vehículos en cola, esperando que el semáforo cambie de luz rojo a verde para salir del semáforo y tomar una vía de salida que pueden ser la vía 2 o la vía 4.

5- MEDIDAS DE DESEMPEÑO DEL TRÁFICO Y COMPARACIONES

5.1-Medidas de rendimiento para el tráfico en los semáforos

Para valorar la eficiencia de los semáforos tomamos como medidas de rendimiento:

- cantidad promedio de vehículos en cada vía del semáforo
- tiempo promedio que tarda un vehículo en cada vía del semáforo
- probabilidad de encontrar en cualquier momento una cantidad dada de vehículos en las vías del semáforo.





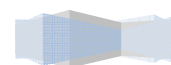
Comparamos mediante gráficos de líneas las dos primeras medidas obtenidas mediante simulación y sus correspondientes medidas reales obtenidas mediante trabajo de campo. Los días que se trabajaron fueron dos días lunes y dos días viernes, los días lunes para la primera y segunda visita al semáforo del CUUN, y los días viernes para la primera y segunda visita al semáforo de Sutiava. Se tomaron estos por considerar que son días donde hay mayor circulación de vehículos. Las horas que se tomaron para recoger esta información fueron: de 7-8 de la mañana el primer periodo, de 12-1 de la tarde el segundo periodo, de 5-6 de la tarde para el tercer periodo.

Los gráficos de promedio de vehículos en la vía se construyeron de la siguiente manera.

Para datos reales se calcula el promedio de vehículos cuando el semáforo cambia de luz verde a rojo. Entonces la cantidad promedio de vehículos en la vía es cantidad de vehículos acumulados entre número de cambios de fase del semáforo.

Los gráficos de tiempo promedio de recorrido de los vehículos en la vía se construyeron de la siguiente manera.

Para datos reales se escogieron vehículos a los que se le midió el tiempo desde que inicio su recorrido en la vía de entrada hasta que salió de dicha vía, luego se obtuvo el tiempo de recorrido acumulado y después se dividió el tiempo de recorrido acumulado entre el número de vehículos.

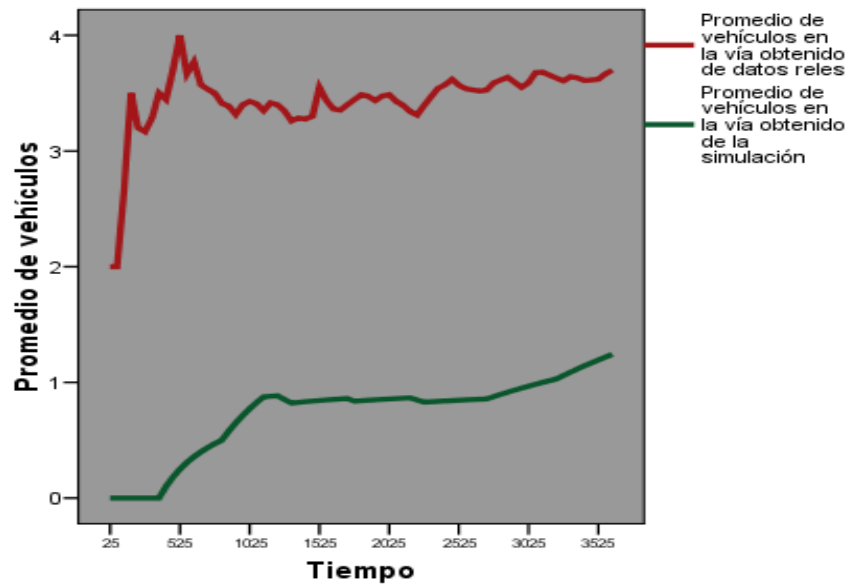




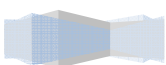
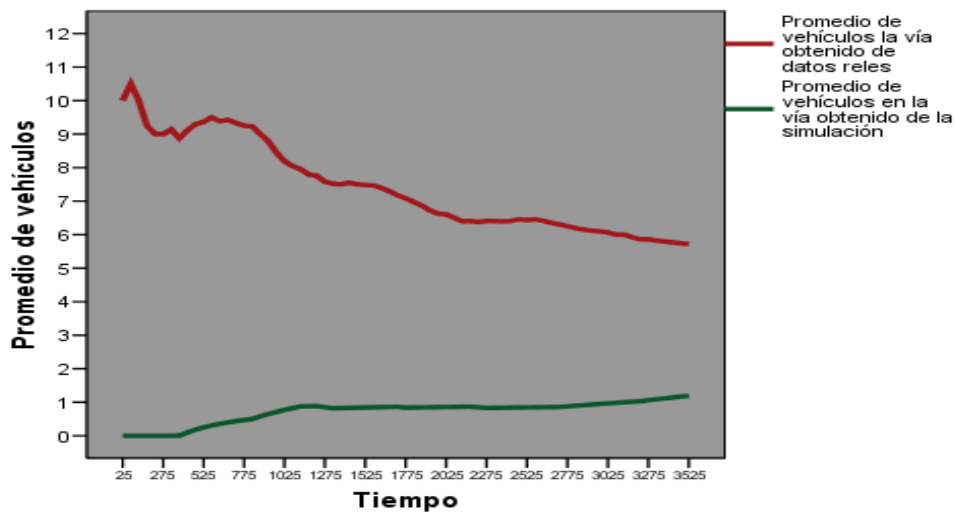
5.2- Comparaciones para el semáforo de la Casa CUUN

Promedio de vehículos en la vía, según vía de entrada y período

Cantidad promedio de vehículos en la vía 1 período 1

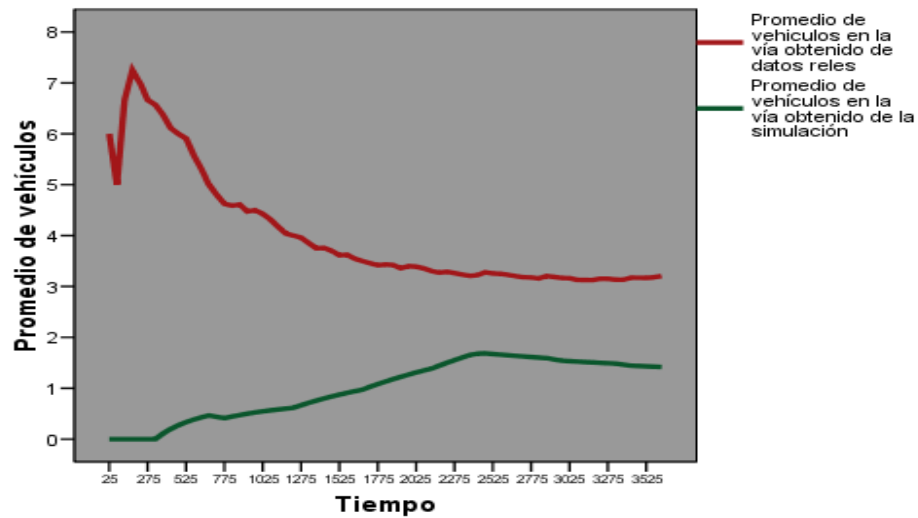


Cantidad promedio de vehículos en la vía 1 periodo 2

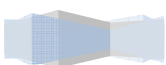
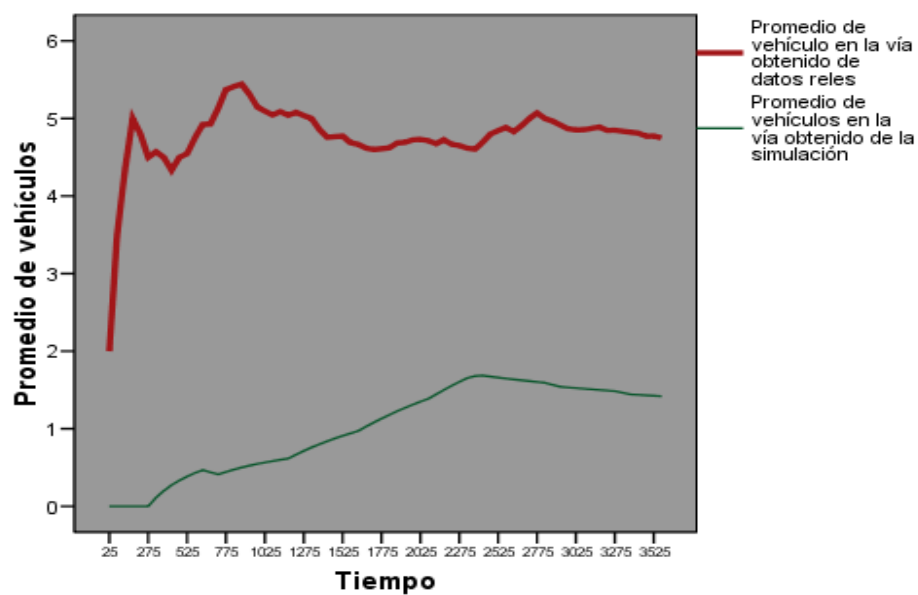




Cantidad promedio de vehículos en la vía 4 periodo 1



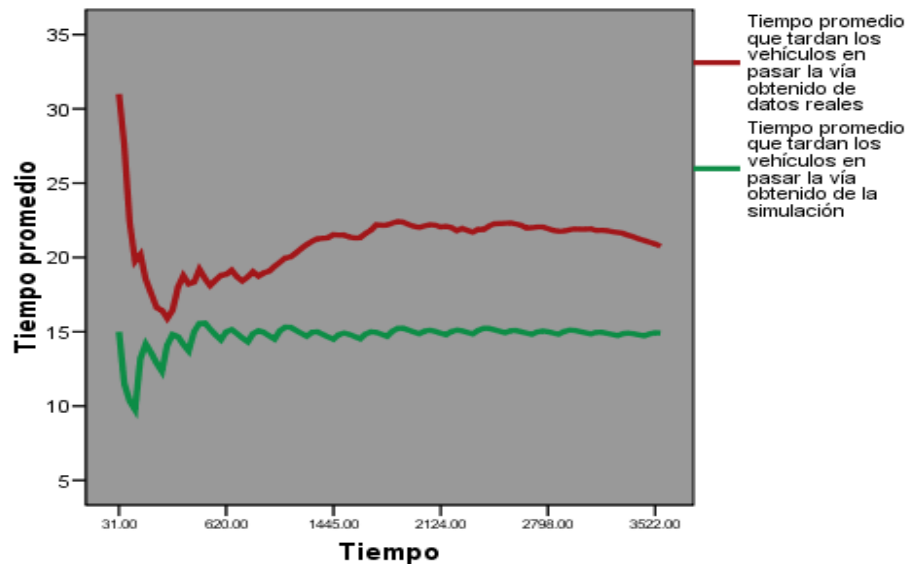
Cantidad promedio de vehículos en la vía 4 periodo 2



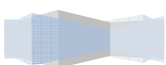
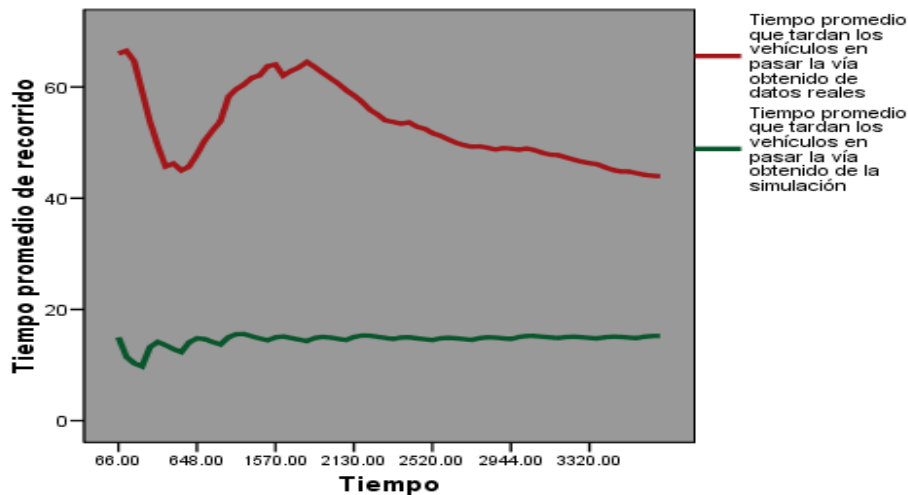


Tiempo promedio de los vehículos en pasar la vía, según vía de entrada y período

Tiempo promedio que tardan los vehículos en pasar la vía 1 período 1

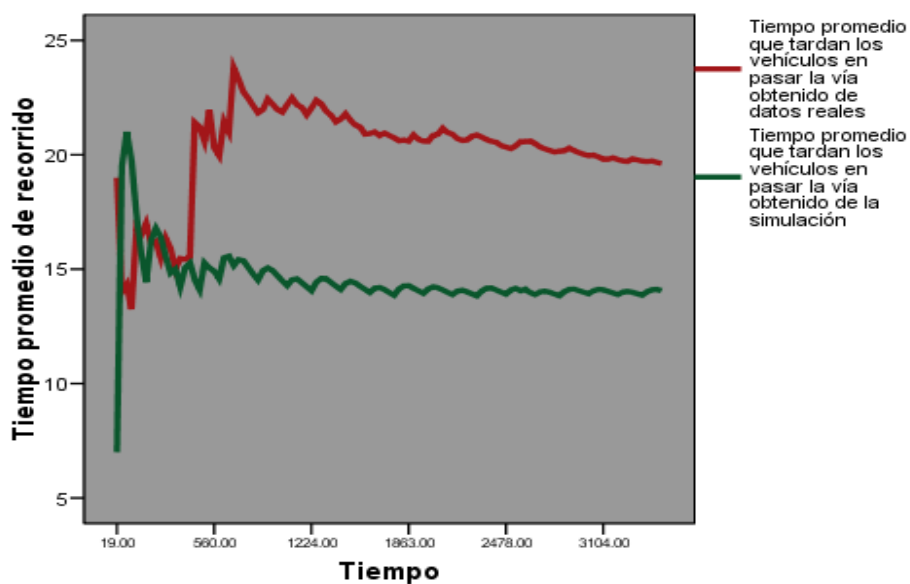


Tiempo promedio que tardan los vehículos en pasar la vía 1 período 2

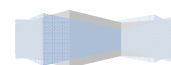
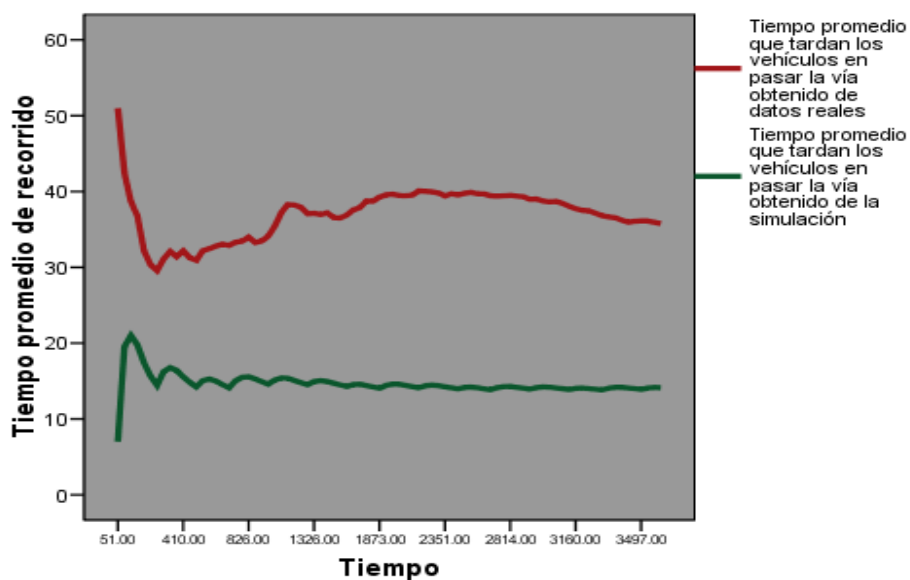




Tiempo promedio que tardan los vehículos en pasar la vía 4 período 1



Tiempo promedio que tardan los vehículos en pasar la vía 4 período 2

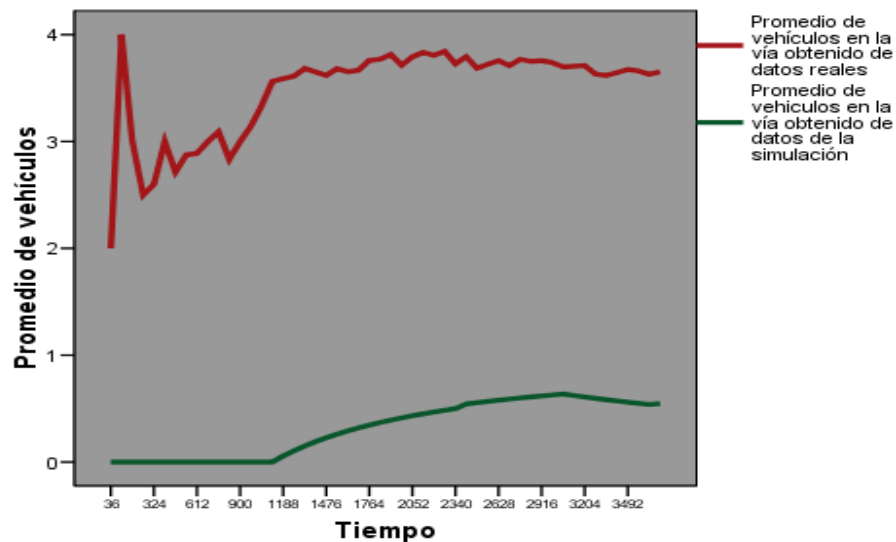




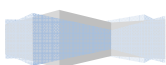
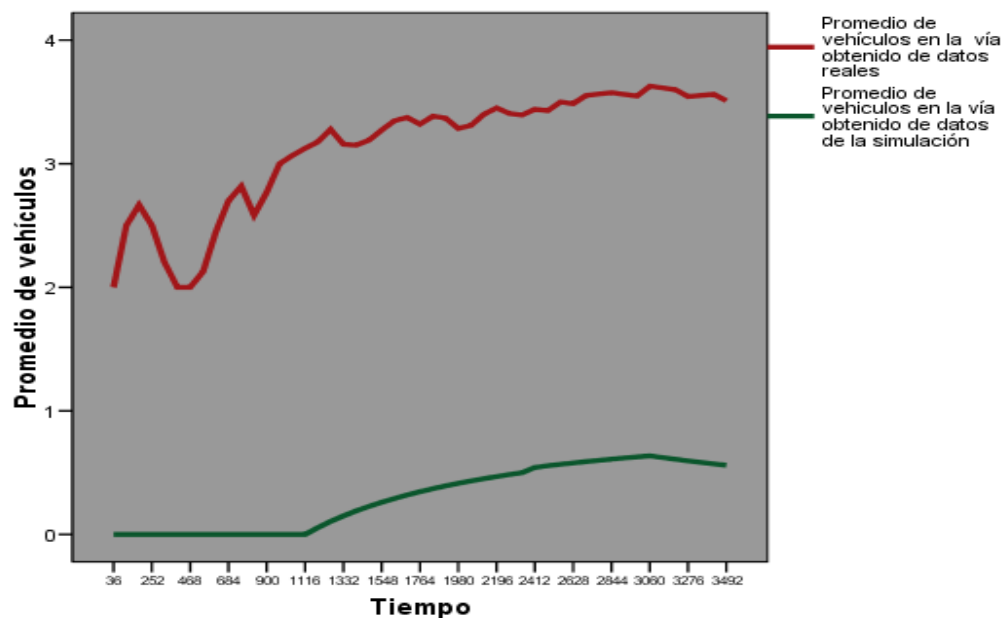
5.3 Comparaciones para el semáforo de Bulevar Sutiava

Promedio de vehículos en la vía, según vía de entrada y período

Cantidad promedio de vehículos en la vía 1 periodo 1

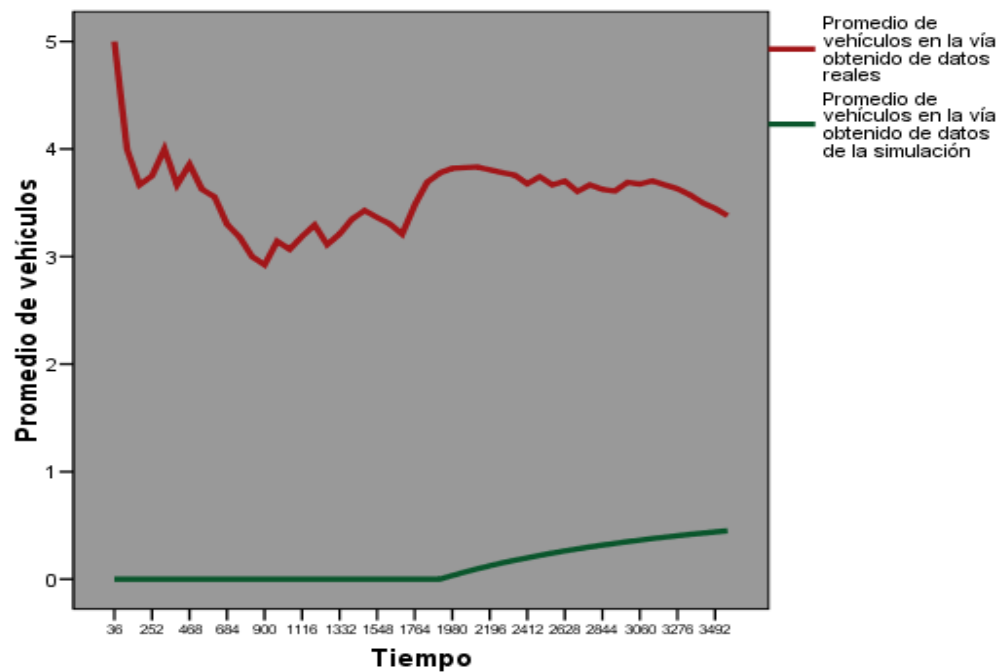


Cantidad promedio de vehículos en la vía 1 periodo 2

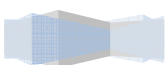
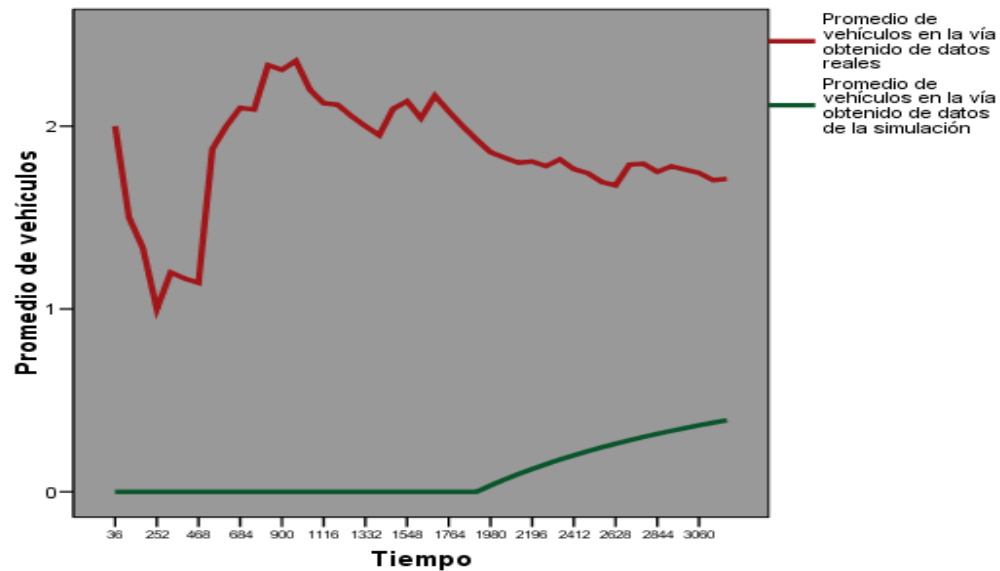




Cantidad promedio de vehículos en la vía 3 periodo 1

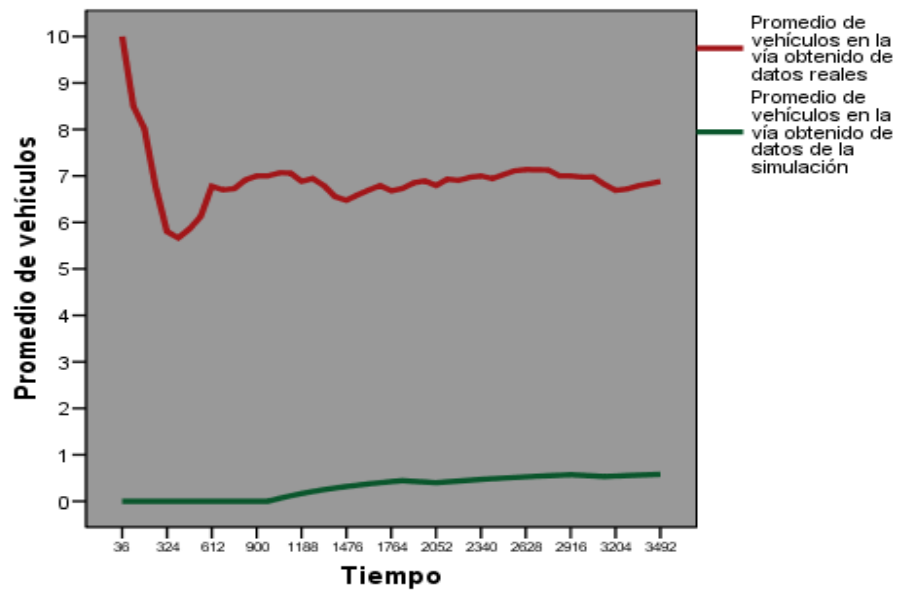


Cantidad promedio de vehículos en la vía 3 periodo 2

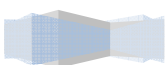
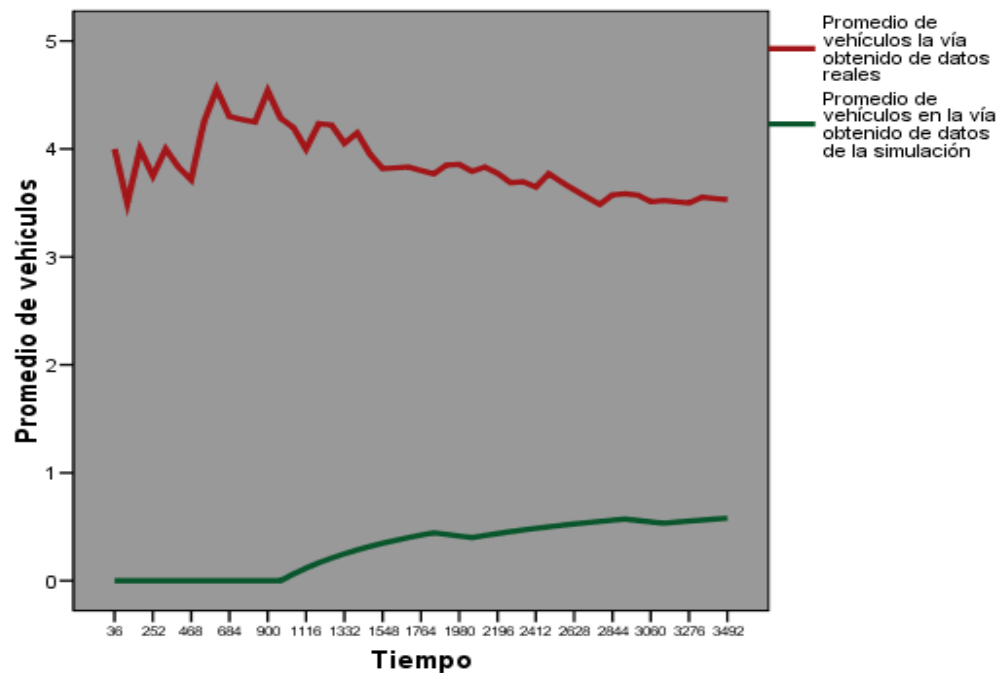




Cantidad promedio de vehículos en la vía 6 período 1



Cantidad promedio de vehículos en la vía 6 período 2



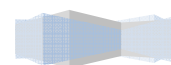
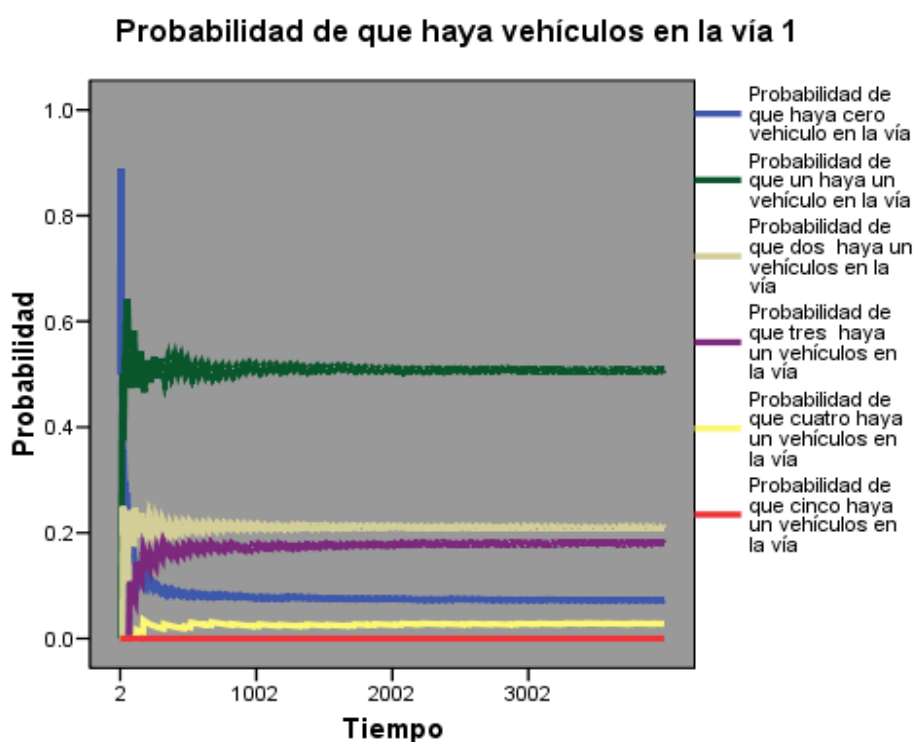


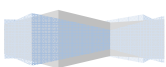
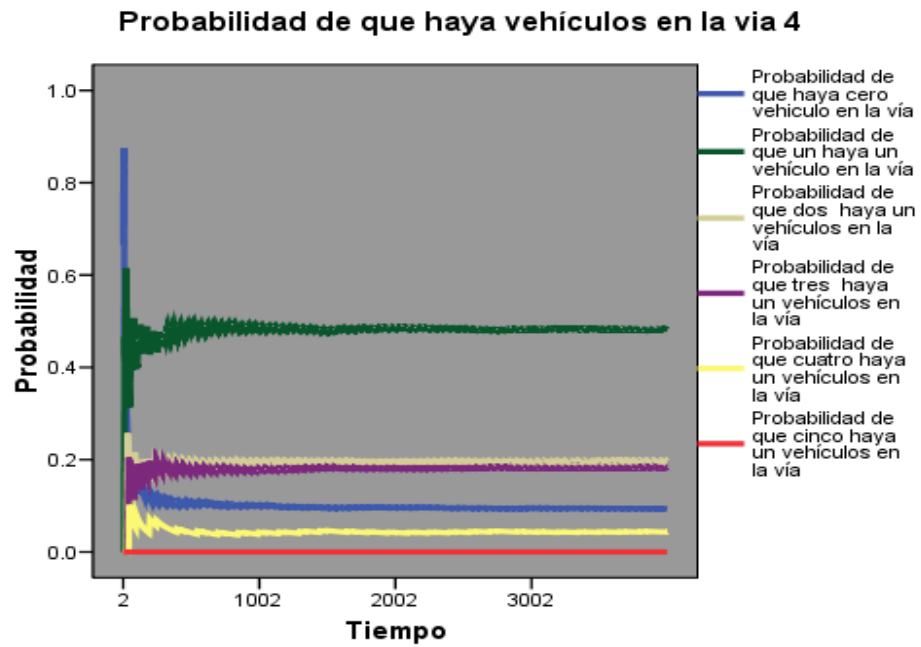
Nota: Los gráficos del tiempo promedio de vehículos basados en datos reales no se realizó debido a que el semáforo del bulevar Sutiava estaba fuera de funcionamiento.

5.4- Probabilidad de n vehículos en la vía según la simulación

En los siguientes gráficos se representa la probabilidad de haya una cantidad determinada de vehículos en la vía en un instante de tiempo cualquiera.

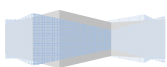
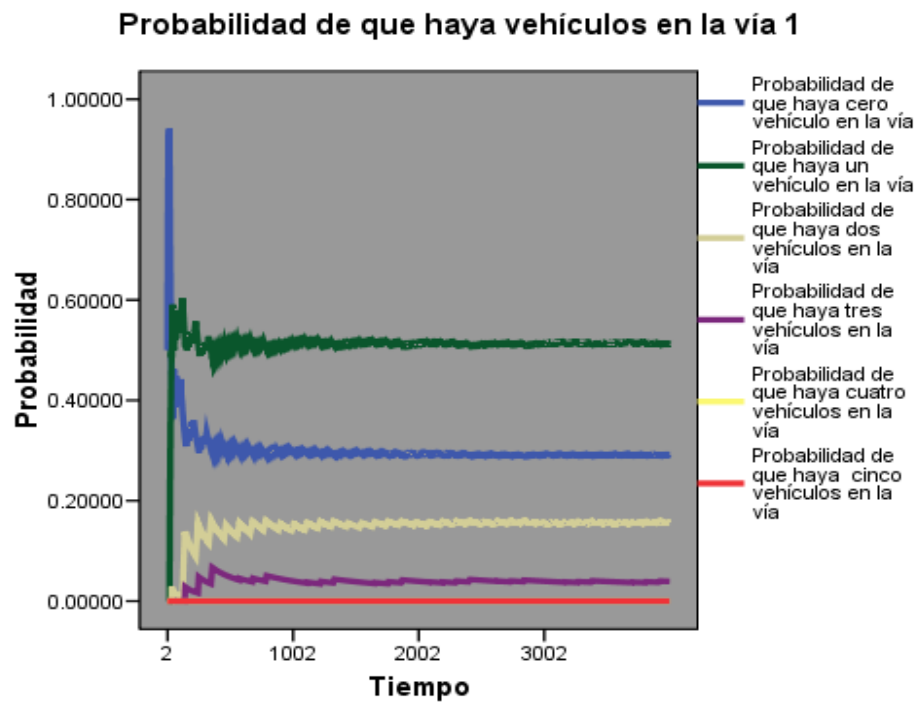
5.5.1- Probabilidad de n vehículos en las vías del semáforo Casa-CUUN





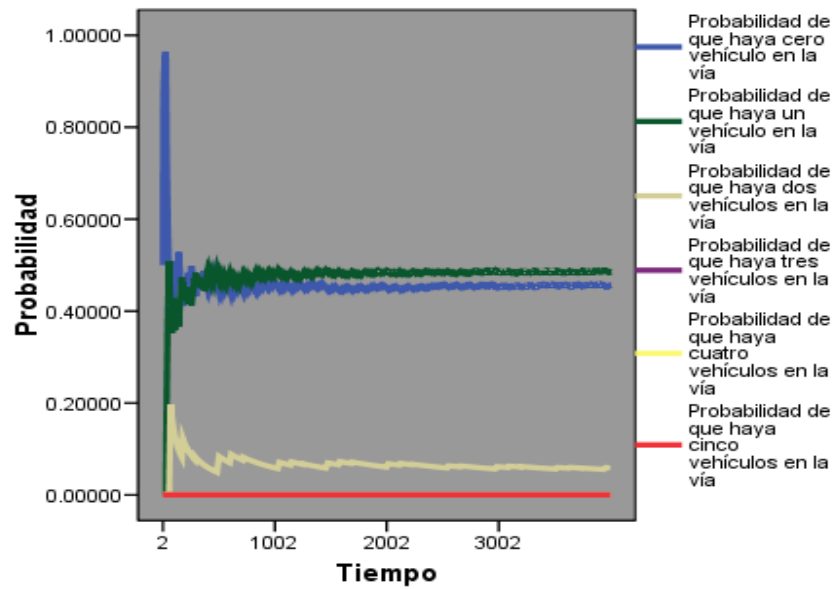


5.4.2- Probabilidad de n vehículos en las vías del semáforo del Bulevar Sutiava

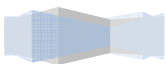
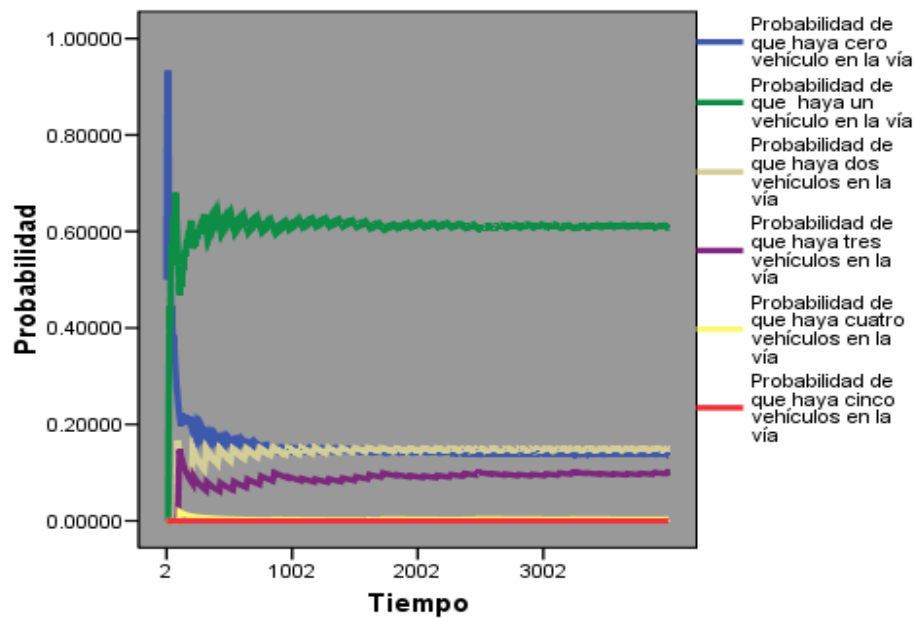




Probabilidad de que haya vehículos en la vía 3



Probabilidad de que haya vehículos en la vía 6





5.6- Análisis de resultado

Análisis de resultados obtenido sobre el número promedio de vehículos en la vía.

Como se puede observar en los gráficos de relación de promedios de vehículos según la vía de entrada en el semáforo del CUUN.

El número promedio de vehículos en la vía en los datos obtenido de la simulación es menor en todos los casos al promedio de vehículos en la vía obtenido de datos reales. Aunque en algunas vías la diferencia es mayor que en otras. La pregunta sería ¿Por qué los resultados de simulación es menor en todos los casos, a los datos obtenidos de datos reales? La respuesta la tenemos a continuación.

Consideramos que esta diferencia está dada por el hecho que la simulación no toma en cuenta que los vehículos se detienen en la vía ya sea un taxi para llevar un pasajero o un carro particular para hacer una compra u otra cosa. Lo anterior también explicaría que:

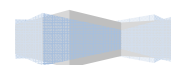
Si comparamos por ejemplo en vía 1 el periodo 1 periodo de 7 a 8 de la mañana, con el periodo de medio día 12 a 1 de la tarde. Vemos que la diferencia entre datos reales y simulados es mayor en el periodo de mediodía esto se debe a que a mediodía hay más densidad de vehículos en la vía y por lo tanto el promedio de vehículos obtenido de datos reales es mayor que el de la mañana.

Ahora si comparamos en la vía 4, la diferencia de promedios reales y simulado es mayor en el periodo de mediodía que el periodo de la mañana, aunque en menor escala a la diferencia que observamos en la vía 1, esto se debe no a que la vía 4 sea menos transitada sino más bien a que esta vía es más corta que la Vía 1.

Ahora observemos el tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar la vía en el semáforo del CUUN.

Observamos que el tiempo promedio que un vehículo tarda en pasar la vía es mayor cuando los resultados son obtenidos de datos reales. Nuevamente tenemos la pregunta ¿porque el tiempo promedio que un vehículo tarda en pasar la vía es mayor cuando se obtiene de datos reales que cuando se obtiene de datos simulados?

La respuesta es la misma como la simulación no toma en cuenta el fenómeno de la detención de los vehículos, una vez que él ya ha recorrido la vía de entrada





entonces en los datos reales siempre el promedio de que vehículo tarda en salir de la vía de entrada es mayor que el que se obtiene en la simulación. Por eso observamos que en todos los casos el promedio de tiempo que tarda un vehículo en pasar la vía es mayor para datos reales que para simulados. Lo anterior también explicaría que:

Si observamos en la vía 1 el promedio de tiempo que tarda un vehículo en la vía, la diferencia que entre los datos simulados y reales es mayor para el periodo de mediodía ya que hay mayor circulación de tráfico y esto afecta las velocidades de los vehículos y por tanto el tiempo que tardan un vehículo en pasar la vía es más grande que en el periodo de la mañana.

Si observamos en la vía 4 no ocurre lo contrario aunque la diferencia es menor que la que ocurre en la vía 1 y tiene la misma justificación que dimos en la del promedio de vehículos en la vía, que no es que sea menos transitada sino que la vía 4 es más corta que la vía 1 y por tanto el tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar la vía 4 es menor que el tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar la vía 1.

Ahora vamos hacer el análisis para el semáforo de Sutiava

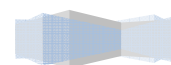
Se observan los mismos comportamientos del resultado del semáforo del CUUN, vemos que siempre el promedio de vehículos en la vía es mayor para los resultados obtenidos de datos reales.

Lo cual afirma nuevamente que la simulación no toma los aspectos mencionados cuando se hizo el análisis para el semáforo del CUUN.

Análisis de probabilidad de vehículos por vías de entrada y por semáforo

Probabilidad de haya vehículos en la vía del semáforo CUUN

Como podemos observar en la vía 1 que es una vía de entrada, en el periodo 1 la mayor probabilidad es la probabilidad de que hay un vehículos en la vía el cual se aproxima aún 50.9%. La segunda probabilidad con mayor valor es la probabilidad de que haya dos vehículos en la vía con un valor del 20.97%, seguido de la probabilidad de que haya tres vehículos en la vía con un porcentaje del 18%. Otra probabilidad que incide en este grafico es la probabilidad de que no haya vehículos en la vía con un valor del 7.30% aproximadamente. Y por último tenemos la probabilidad de que haya cuatro vehículos en la vía con un valor de 2.8%. La probabilidad de que haya cinco vehículos en la vía es del 0%.





En relación al periodo de 2 que es el periodo de mediodía, la tendencia es similar a la del periodo 1.

En la vía 4 la probabilidad de mayor porcentaje es la probabilidad de que haya un vehículo en la vía con valor del 48.15, seguido de las probabilidades de que haya dos vehículos en la vía y tres vehículos en la vía con porcentajes de 19.75% y 18.35%. Otra probabilidad que se destaca es la probabilidad de que no haya vehículos en la vía con un valor del 9.35% aproximadamente. Y por último tenemos la probabilidad de que haya cuatro vehículos en la vía con valor del 4.735% aproximadamente. La probabilidad de que haya cinco vehículos en la vía tiene un porcentaje del 0%. La relación para el periodo 2 es similar a la del periodo 1.

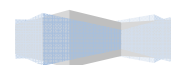
Probabilidad de que haya vehículos en las vías de entradas en el semáforo de sutiava.

En la vía 1, la probabilidad de mayor porcentaje es la probabilidad de que haya un vehículo en la vía con un valor del 51.22%, seguido de la probabilidad de que no haya vehículos en la vía con un 29.23, las otras probabilidades que tienen porcentajes son las probabilidades de que haya dos y tres vehículos en la vía con 15.6% y 3.925%. Las probabilidades de que haya tres y cuatro vehículos en la vía tienen un porcentaje del 0%.

En la vía 3, la probabilidad de mayor porcentaje es la probabilidad de que haya un vehículo en la vía con valor de 48.48%, la segunda probabilidad con mayor porcentaje es la probabilidad de que no haya un vehículo en la vía con un 45.6%. La otra probabilidad que tiene porcentaje es la probabilidad de que haya dos vehículos en la vía con un porcentaje de 5.9%. Las probabilidades de que haya tres, cuatro, cinco vehículos en la vía tienen porcentaje del 0%.

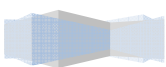
En la vía 6, la probabilidad de mayor porcentaje es la probabilidad de que haya un vehículo en la vía con un valor de 60.78%, seguido de la probabilidad de que haya dos vehículos en la vía con un 14.97%. La probabilidad que le sigue es la probabilidad de que no haya vehículos en la vía con un 13.73%. Otras probabilidades que tienen porcentaje es la probabilidad de que haya tres y cuatro vehículos en la vía con valores de 10.13% y 0.375%. La probabilidad de que haya cinco vehículos en la vía tiene un porcentaje del 0%.

Nota: estos resultados se están analizando cuando el tiempo es de 4000 segundo que es cuando las líneas que representan a cada probabilidad tienden a los valores representados en el análisis de cada vía. Con esto quiere decir que si





lo calculamos en otro tiempo menor que 4000 segundo los resultados van a variar. Estos son datos obtenidos de la simulación.





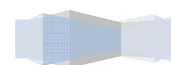
6- CONCLUSIONES

Con este trabajo tratamos con la teoría de flujo vehicular, estudiando así las relaciones fundamentales del tráfico vehicular y al mismo tiempo haciendo un ejemplo real que tenga que ver estas relaciones, por otra parte estudiamos los modelos de simulación de tráfico vehicular.

En base a los resultados de la simulación de semáforos en la ciudad de León, lo que se pretendía era hacer una comparación de los resultados obtenidos de datos reales y datos de la simulación. Lo que se comparó fue

- Cantidad promedio de vehículos en las vías de entrada (cantidad de clientes en el sistema). En lo que observamos que los promedios de vehículos en la vía obtenidos de datos reales es mayor que los promedios de vehículos en la vía obtenidos de datos de simulación, debido a factores que no toma la simulación, como la detenida de vehículo en la vía atrasa a los vehículos que le siguen. El promedio de vehículos en la vía 1y periodo 1del semáforo de la CASA CUUN obtenidos de datos reales es de 3.68 vehículos en la vía y datos simulados es de 1.58 vehículos en la vía. Para el período de mediodía el que cambia solo es el resultado obtenido de datos reales que es de 5.41 El promedio de vehículos en la vía 4 y período 1 del semáforo de la CASA CUUN obtenidos de datos reales es de 4.75 vehículos en la vía y datos simulados es de 1.60 vehículos en la vía. Para el período de mediodía el que cambia solo es el resultado obtenido de datos reales que es de de 6.52.

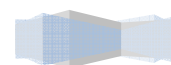
El promedio de vehículos en la vía 1y periodo 1 del semáforo bulevar Sutiava obtenidos de datos reales es de 3.65 vehículos en la vía y datos simulados es de 0.94 vehículos en la vía. Para el período de mediodía el que cambia solo es el resultado obtenido de datos reales que es de 3.51. El promedio de vehículos en la vía 3 y periodo 1 del semáforo bulevar Sutiava obtenidos de datos reales es de 3.38 vehículos en la vía y datos simulados es de 0.603 vehículos en la vía. Para el período de mediodía el que cambia solo es el resultado obtenido de datos reales que es de 1.71. El promedio de vehículos en la vía 6 y periodo 1del semáforo bulevar Sutiava obtenidos de datos reales es de 6.87 vehículos en la vía y datos simulados es de 1.22 vehículos en la vía. Para el período de mediodía el que cambia solo es el resultado obtenido de datos reales que es de 3.53.





- Tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar la vía de entrada (tiempo que tarda un cliente para ser atendido). En este caso observamos que el tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar la vía de entrada en resultados obtenidos de datos reales es mayor que el tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar la vía de entrada en resultados obtenido de datos de simulación. El tiempo promedio de vehículos en la vía 1 periodo 1 del semáforo de la CASA CUUN obtenidos de datos reales es de 20.74 segundos y de datos simulados es 14.97 segundos. Para el período de mediodía el que cambia es el resultado de datos reales que de 43.94 segundos. El tiempo promedio de vehículos en la vía 3 periodo 1 del semáforo de la CASA CUUN obtenidos de datos reales es de 35.67 segundos y de datos simulados es 14.12 segundos. Para el período de mediodía el que cambia es el resultado de datos reales que de 36.64 segundos.

Otra información que se obtuvo de la simulación fue la probabilidad de haya vehículos en las vías de entrada en la que obtuvimos como resultado la probabilidad de mayor porcentaje es la probabilidad de que haya un vehículo en la vía, seguido en varias ocasiones por las probabilidades de que haya dos y tres vehículos en la vía, con algunas excepciones en el semáforo de Sutiava donde la segunda probabilidad que tiene mayor porcentaje es la probabilidad de que no haya vehículos en la vía de entrada.



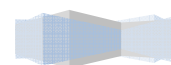


7- RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores se recomienda lo siguiente

- Aparte de los trabajos de campos que se realizaron en el presente trabajo, es importante agregar como trabajo de campo el tiempo que tarda un vehículo en salir del semáforo una vez que ya ha recorrido la vía de entrada.
- Hacer una observación de cuantos vehículos se paran en promedio en una vía de entrada, los cuales atrasan el paso de los vehículos que vienen tras de ellos, esta información nos permitirá hacer una mejor comparación entre los resultados obtenidos de datos reales y los resultados obtenidos de datos de simulación.
- Es necesario considerar las vías de salida ya que estas influyen de alguna manera en las vías de entrada puesto que si las vías de salida están ocupadas entonces los vehículos se detienen aunque el semáforo esté en verde.
- Conseguir un aparato electrónico para sacar todas las medidas de rendimiento que se hicieron en este trabajo sería mejor, lo cual permite estas comparaciones con mayor exactitud.

Teniendo toda la información que se sugiere, pienso que el estudio es más interesante aún, lo cual permite medir la eficiencia del semáforo y podría decir si el semáforo está funcionando bien, si está bien ubicado, además pueden darse posibles sugerencias en qué lugares de la ciudad de León se necesita poner otro semáforo.



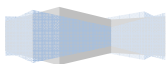


8- ANEXOS

8.1-Datos del primer trabajo de campo

Calle norte del semáforo de sutiava, periodo1 7-8 am

periodo verde	norte- sur	norte-este	norte-oeste	periodo rojo	Nº auto cuando inicia	Nº auto cuando termina
1	2	1	1	1	2	2
2	2	0	1	2	0	6
3	0	1	5	3	0	1
4	1	0	1	4	0	1
5	1	0	0	5	0	3
6	0	1	2	6	1	5
7	0	0	7	7	1	1
8	0	1	1	8	0	4
9	1	1	3	9	0	3
10	1	0	5	10	1	4
11	1	0	3	11	2	4
12	1	0	3	12	0	0
13	0	0	0	13	0	5
14	2	1	3	14	2	5
15	1	1	3	15	1	6
16	2	2	3	16	1	7
17	2	0	6	17	4	4
18	1	1	4	18	0	4
19	1	0	3	19	1	5
20	1	1	3	20	1	3
21	1	0	3	21	1	3
22	1	0	3	22	1	5
23	2	0	5	23	0	3
24	0	0	6	24	2	4
25	2	0	2	25	1	6
26	0	2	4	26	0	4
27	1	1	4	27	2	5
28	0	1	4	28	0	1
29	1	0	0	29	1	6
30	2	0	5	30	2	5



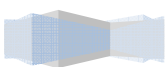


31	1	0	4	31	2	3
32	1	1	1	32	1	5
33	2	1	3	33	0	0
34	0	0	1	34	1	6
35	3	0	5	35	0	0
36	3	0	2	36	1	5
37	1	2	2	37	2	5
38	3	1	1	38	1	2
39	0	0	2	39	3	6
40	3	0	5	40	0	3
41	0	0	4	41	1	4
42	1	0	5	42	2	3
43	1	1	2	43	0	2
44	2	0	2	44	0	4
45	1	0	3	45	2	4
46	0	3	4	46	0	0
47	0	0	0	47	0	3
48	0	0	5	48	2	5
49	0	4	2	49	2	5
50	1	0	4	50	1	3
51	2	0	1	51	0	2
52	0	0	2	52	1	5
total	55	28	153	236	49	190
frecuencia s de giros	0.233050 8	0.1186440 7	0.6483050 8			
tasa de entrada vía 1 periodo1	0.066944 4					

La tasa de entrada en la vía es la suma de todos los vehículos que giraron más la cantidad de vehículos que quedaron al final del último periodo rojo entre 3600 que es el número de segundo que hay en una hora.

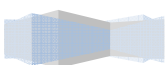
Aquí vamos a encontrar el promedio de vehículos en la vía.

cant de veh al final de cada periodo rojo en la vía 1 sut				
numero de periodos	cant de veh	veh acumulado	tiempo	Número promedio de vehículos en la





				vía
1	2	2	25	2
2	6	8	75	4
3	1	9	125	3
4	1	10	175	2.5
5	3	13	225	2.6
6	5	18	275	3
7	1	19	325	2.714285714
8	4	23	375	2.875
9	3	26	425	2.888888889
10	4	30	475	3
11	4	34	525	3.090909091
12	0	34	575	2.833333333
13	5	39	625	3
14	5	44	675	3.142857143
15	6	50	725	3.333333333
16	7	57	775	3.5625
17	4	61	825	3.588235294
18	4	65	875	3.611111111
19	5	70	925	3.684210526
20	3	73	975	3.65
21	3	76	1025	3.619047619
22	5	81	1075	3.681818182
23	3	84	1125	3.652173913
24	4	88	1175	3.666666667
25	6	94	1225	3.76
26	4	98	1275	3.769230769
27	5	103	1325	3.814814815
28	1	104	1375	3.714285714
29	6	110	1425	3.793103448
30	5	115	1475	3.833333333
31	3	118	1525	3.806451613
32	5	123	1575	3.84375
33	0	123	1625	3.727272727
34	6	129	1675	3.794117647





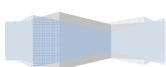
35	0	129	1725	3.685714286
36	5	134	1775	3.722222222
37	5	139	1825	3.756756757
38	2	141	1875	3.710526316
39	6	147	1925	3.769230769
40	3	150	1975	3.75
41	4	154	2025	3.756097561
42	3	157	2075	3.738095238
43	2	159	2125	3.697674419
44	4	163	2175	3.704545455
45	4	167	2225	3.711111111
46	0	167	2275	3.630434783
47	3	170	2325	3.617021277
48	5	175	2375	3.645833333
49	5	180	2425	3.673469388
50	3	183	2475	3.66
51	2	185	2525	3.62745098
52	5	190	2575	3.653846154
	190			

8.2- Datos del segundo trabajo de campo

Lo que queremos encontrar el tiempo promedio que tarda un vehículo en pasar una vía de entrada.

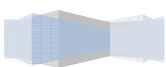
0-rojo 1-verde	Nº de vehículos	Momento de entrada	Momento de salida (MS)	Tiempo de recorrido	Tiempo de recorrido acumulado	Tiempo de recorrido promedio
-------------------	--------------------	--------------------------	------------------------------	---------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

Autor: Ismael Cárdenas López | Tutor: Ramiro Cáceres Espinoza



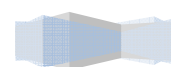


		(ME)		(TR)	(TRA)	(TRP)
1	1	0	66	66	66	66
0	2	72	139	67	133	66.5
0	3	149	210	61	194	64.6666667
1	4	225	268	43	237	59.25
0	5	290	322	32	269	53.8
0	6	340	368	28	297	49.5
0	7	378	401	23	320	45.7142857
1	8	415	465	50	370	46.25
0	9	473	508	35	405	45
0	10	513	565	52	457	45.7
1	11	578	648	70	527	47.9090909
0	12	660	738	78	605	50.4166667
0	13	745	819	74	679	52.2307692
0	14	830	905	75	754	53.8571429
0	15	923	1043	120	874	58.2666667
0	16	1050	1130	80	954	59.625
0	17	1138	1212	74	1028	60.4705882
0	18	1220	1302	82	1110	61.6666667
1	19	1312	1382	70	1180	62.1052632
1	20	1395	1490	95	1275	63.75
0	21	1500	1570	70	1345	64.047619
0	22	1575	1595	20	1365	62.0454545
1	23	1600	1682	82	1447	62.9130435
0	24	1690	1768	78	1525	63.5416667
1	25	1785	1873	88	1613	64.52
1	26	1880	1920	40	1653	63.5769231
0	27	1930	1966	36	1689	62.5555556
0	28	1970	2005	35	1724	61.5714286
1	29	2015	2049	34	1758	60.6206897
0	30	2060	2085	25	1783	59.4333333
0	31	2100	2130	30	1813	58.483871
0	32	2150	2173	23	1836	57.375
1	33	2190	2200	10	1846	55.9393939
0	34	2205	2231	26	1872	55.0588235





0	35	2235	2253	18	1890	54
1	36	2259	2303	44	1934	53.7222222
0	37	2308	2350	42	1976	53.4054054
0	38	2360	2423	63	2039	53.6578947
0	39	2430	2453	23	2062	52.8717949
0	40	2458	2496	38	2100	52.5
0	41	2500	2520	20	2120	51.7073171
0	42	2525	2557	32	2152	51.2380952
0	43	2560	2583	23	2175	50.5813953
0	44	2578	2602	24	2199	49.9772727
1	45	2608	2638	30	2229	49.5333333
1	46	2645	2682	37	2266	49.2608696
0	47	2690	2742	52	2318	49.3191489
0	48	2750	2788	38	2356	49.0833333
0	49	2790	2823	33	2389	48.755102
0	50	2830	2892	62	2451	49.02
0	51	2900	2944	44	2495	48.9215686
0	52	2948	2986	38	2533	48.7115385
0	53	2990	3051	61	2594	48.9433962
1	54	3055	3089	34	2628	48.6666667
1	55	3095	3116	21	2649	48.1636364
0	56	3120	3149	29	2678	47.8214286
1	57	3155	3200	45	2723	47.7719298
1	58	3205	3228	23	2746	47.3448276
0	59	3230	3253	23	2769	46.9322034
0	60	3258	3284	26	2795	46.5833333
0	61	3290	3320	30	2825	46.3114754
1	62	3325	3359	34	2859	46.1129032
1	63	3365	3377	12	2871	45.5714286
0	64	3380	3393	13	2884	45.0625
1	65	3397	3426	29	2913	44.8153846
0	66	3430	3475	45	2958	44.8181818
1	67	3478	3501	23	2981	44.4925373
1	68	3504	3529	25	3006	44.2058824
0	69	3532	3566	34	3040	44.057971





0	70	3568	3604	36	3076	43.9428571
---	----	------	------	----	------	------------

Tiempo de recorrido es el momento de salida menos el momento de entrada.

Tiempo de recorrido promedio es el tiempo de recorrido acumulado entre el número de periodo.

8.3 Archivos de entrada de la simulación

Semáforo del CUUN

Archivo de nodos

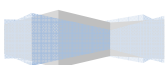
ID	ESTE	NORTE
1	513106.76	1374679.93
2	513102.54	1374885.28
3	513104.11	1374779.23
4	513187.47	1374779.6
5	512967.93	1374775.74

Archivos de giros

VIAORIGEN	VIADestino	FRECUENCIAS				
1	2	0.8312	0.7241	0.7806	0.7806	0.7806
1	3	0.1688	0.2759	0.2194	0.2194	0.2194
2	0	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1	1
4	2	0.1661	0.2635	0.1744	0.1744	0.1744
4	3	0.8339	0.7365	0.8256	0.8256	0.8255

Archivo de vías

ID	NODOINICIO	NODOFINAL	VIALIBRE	TASA				
1	1	3	1	0.08889	0.10583	0.09833	0.09833	0.09833
2	3	2	1	0	0	0	0	0
3	3	5	1	0	0	0	0	0
4	4	3	1	0.085	0.11361	0.11555	0.11555	0.11555





Archivo psemáforo

ID	FASE	VIA
1	0	1
1	1	4

Archivo dsemáforo

ID	NODO	TF	NF
1	3	25	2

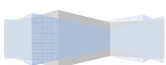
Semáforo de Sutiava

Archivo de nodos

ID	ESTE	NORTE
1	512154.13	1374772.73
2	512160.86	1374521.61
3	512157.01	1374648.77
4	512340.68	1374654.93
5	512013.88	1374642.63
6	512014.53	1374647.83

Archivo de giros

VIAORIG EN	VIADESTI NO	FRECUENCIAS				
1	4	0.233050 85	0.271844 66	0.264423 08	0.264423 08	0.264423 08
1	5	0.118644 07	0.111650 49	0.076923 08	0.076923 08	0.076923 08
1	7	0.648305 09	0.616504 85	0.658653 85	0.658653 85	0.658653 85
2	0	1	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1
5	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1





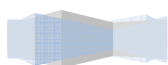
3	2	0.142857 14	0.258064 52	0.236024 85	0.236024 85	0.236024 85
3	5	0.177142 86	0.169354 84	0.217391 3	0.217391 3	0.217391 3
3	7	0.68	0.572580 65	0.546583 85	0.546583 85	0.546583 85
6	2	0.073770 49	0.063829 79	0.058666 67	0.058666 67	0.058666 67
6	4	0.275956 28	0.165957 45	0.216	0.216	0.216
6	5	0.650273 22	0.770212 77	0.725333 33	0.725333 33	0.725333 33

Archivo de vía

I D	NODO INIC IO	NODO FIN AL	VIALIB RE	TASA				
1	1	3	1	0.0669 4	0.0575	0.0597 2	0.0597 2	0.0597 2
2	3	1	1	0	0	0	0	0
3	2	3	1	0.0488 9	0.035	0.045	0.045	0.045
4	3	2	1	0	0	0	0	0
5	3	4	1	0	0	0	0	0
6	5	3	1	0.1041 7	0.0661 1	0.1066 7	0.1066 7	0.1066 7
7	3	6	1	0	0	0	0	0

Archivo psemáforo

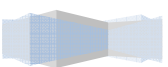
ID	FASE	VIA
1	0	1
1	1	3
1	2	6





Archivo dsemáforo

ID	NODO	TF	NF
1	3	3,632,758,992	3





Bibliografía

Análisis del flujo vehicular (sjnavarro.files.wordpress.com)

Tesis de simulación tráfico (eav.upb.edu.co/banco/files)

Tema 86 (www.dgt.es/was6/portal/contenidos/.../la_dgt/)

Análisis de los modelos y métodos de optimización del tráfico urbano
(www.uv.es/asepuma)

Control y simulación de tráfico urbano en Colombia
(www.revistaing.uniandea.edu.co)

Modelos y Simulacion (www.ucema.edu.ar/).

Cálculo de capacidad (www.upcommons.upc.edu)

Anexo: diagrama de flujo (www.upcommons.upc.esdu)

Tema 87 - educación y seguridad vial - dirección general de tráfico
(www.dgt.es/was6/portal/contenidos)

Teoría de colas (investigación de operaciones Taha)

