

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, Managua

Recinto Universitario “Rubén Darío”

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Departamento de Matemática y Estadística



**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN
MATEMÁTICA**

Tema: Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

Autores:

Br. Wilkin Mejía Chavarría

Br. Deyvi Antonio López Rojas

Br. Erick Josué Herrera Morales

Tutor: MSc. Carlos Mendoza Galán

Managua, 10 de diciembre del 2015

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer, primeramente, a Dios, porque todo esto que hemos logrado nunca hubiese sido posible sin la ayuda de él; a nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente, y a todos los docentes que participaron en nuestra formación profesional, a ellos nuestra gratitud, en especial al profesor Carlos Mendoza Galán por guiarnos hasta la finalización de esta empresa y por su comprensión en los momentos de duda de parte nuestra, respecto al trabajo.

DEDICATORIA

- Erick Herrera:

A Dios por permitir culminar mi estudio universitario y por haberme dado la paciencia y la sabiduría necesaria para poder culminar mi tesis, mis padre por brindarme todo su apoyo y la oportunidad de ser un profesional, ya que siempre me estimularon a seguir adelante, mi abuela porque fue un prospecto a seguir.

A todos los que me apoyaron y ayudaron directa o indirectamente.

- Deyvi López.

A Dios sobre todas las cosas, por ser el principal forjador de mi vida, por hacer de este sueño una realidad, a mi amigo, Juan José Blanco (e.p.d), Roberto Pomares, amigos, que en su momento, fueron, participes para que yo pudiera culminar mis estudios y mis aprendizajes en la carrera. A mis padres, Máyela Caridad Rojas y Justo Pastor López, quienes siempre, con su sabios consejos y sacrificios, me apoyaron para alcanzar mis metas educativas y ser cada vez más competente en lo profesional.

- Wilkin Mejía.

A Dios porque es él a quien le debo la vida y, también, quiero dedicar este trabajo a las personas que me apoyaron, de una u otra manera para que pudiera graduarme de mis estudios superiores; a los docentes del departamento de matemáticas de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, ya que son ellos los principales forjadores en mi formación como profesional.

RESUMEN

En este informe presentamos los resultados obtenidos del estudio estadístico-matemático referido a la optimización de las medidas de rendimiento de las fases del semáforo Iván Montenegro, en las horas de máxima demanda, de 7:30 a 8:30.

Este estudio se realizó tomando en cuenta los parámetros de **volumen** o cantidad de vehículos que circulan por un punto en un tiempo específico, **tasa de flujo** o frecuencia vehicular, **demanda** o cantidad de vehículos que pasaron por dicha intersección y **capacidad** o cantidad máxima de vehículos que pueden pasar, en un intervalo de tiempo determinado.

También, se tomaron en cuenta los módulos de tráfico: **Fases del semáforo**, **Ajuste del volumen**, **Flujo de saturación**, **Análisis de capacidad**, **Nivel de servicio**; este último módulo arroja los valores finales de los tiempos óptimos del semáforo en estudio.

El objetivo principal de la regulación del flujo vehicular, por la vía de semáforos, es que pasen el mayor número posible de vehículos por segundo y que se produzcan tiempos de retardación mínimos, aquí se presentan esos tiempos óptimos.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCION.....	8
2.	ANTECEDENTE	10
3.	JUSTIFICACION.....	12
4.	OBJETIVOS	13
4.1	Objetivos General	13
4.2	Objetivos Específico	13
5.	MARCO TEÓRICO.....	14
5.1	Conceptos Previos.....	14
5.2	Niveles de Servicio:	17
5.3	Elementos de un Sistema de Filas de Espera.	20
5.4	Análisis Determinístico del Congestionamiento.....	23
5.5	Análisis de Intersecciones con Semáforos con Régimen D / D / 1	24
5.6	Concepto de Capacidad Vial.....	24
5.7	Concepto de Nivel de Servicio	25
5.8	Cálculo de la Tasa de Flujo	26
5.9	Determinación de la Tasa de Flujo	29
6.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS OPERACIONAL	31
6.1	Condiciones Geométricas.....	31
6.2	Datos Necesarios Para el Análisis de Cada Grupo de Carriles.	32
6.3	Condiciones del Tránsito	33
6.4	Condiciones del Tránsito	33
6.5	Agrupación de Carriles.....	34
6.6	Determinación de la Tasa de Flujo	35
6.7	Determinación de la Tasa de Flujo de Saturación.....	36

7.	RELACIÓN VOLUMEN A CAPACIDAD	37
7.1	Capacidad	37
7.2	Relación Volumen a Capacidad	38
7.3	Determinación de las Demoras	39
7.4	Factor de Ajuste por Coordinación.....	40
7.5	Demora Uniforme.....	41
7.6	Demora Incremental	41
7.7	Demora por Cola Inicial.....	42
7.8	Existen Cinco Escenarios, para Estimar Esta Demora:.....	42
7.9	Demoras agregadas	43
8.	DISEÑO METODOLÓGICO	45
9.	PRESENTACIÓN DEL ENFOQUE METODOLÓGICO	46
9.1	Tipos de Variables	47
10.	DESARROLLO.....	48
10.1	Valores Del Semáforo Sin Optimizar	48
10.2	Fases del Semáforo.....	48
10.3	Módulo de Análisis de Capacidad (7:15–8:15) AM.....	48
10.4	Módulo del Nivel de Servicio (7:15–8:15) AM.....	49
10.5	Módulo del Nivel de Servicio (5:30–6:30) PM.....	50
11.	PROPUESTA DE LOS TIEMPOS EN LAS FASES DEL SEMÁFORO.....	51
11.1	Módulo de Ajuste del Volumen (7:15–8:15) AM	52
11.2	Módulo de Ajuste del Volumen (5:30–6:30) PM	52
12.	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS/ACCESOS	53
12.1	Porcentajes de Vehículos/Accesos hora (7:15–8:15) AM.....	53
12.2	Porcentajes de Vehículos/Accesos hora (5:30–6:30) PM.....	54
12.3	Módulo del Flujo de Saturación (7:15–8:15) AM	58
12.4	Módulo del Flujo de Saturación (5:30–6:30) PM	59
12.5	Módulo de Análisis de Capacidad (7:15–8:15) AM.....	60
12.6	Módulo de análisis de capacidad (5:30–6:30) PM	60
12.7	Módulo del Nivel de Servicio.....	66

13. CONCLUSIONES.....	68
14. RECOMENDACIONES.....	69
15. BIBLIOGRAFÍA.....	70
16. ANEXOS	71

1. INTRODUCCION

A través de los años el flujo vehicular en nuestra capital se ha incrementado constantemente y el desarrollo de la infraestructura vial ha sido insuficiente. Esto se refleja en situaciones donde el volumen de tráfico en uno o más puntos de una vía, excede la capacidad máximo que puede pasar por ellos, provocando largos retrasos, que derivan en problemas económicos como medioambientales.

Uno de los elementos principales dentro de la administración del tráfico urbano es el funcionamiento de los semáforos que regulan una intersección vial. Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y eléctricos, proyectados específicamente para facilitar, ordenar y regular el control del tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptados, como son el verde, el amarillo y el rojo. Su finalidad principal es el de permitir el paso, alternadamente, a las corrientes de tránsito que se cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

Es muy importante que antes de seleccionar y poner a funcionar un semáforo, se deba efectuar un estudio con todos los parámetros necesarios, porque el objetivo es que éste responda a las necesidades del tránsito y en su caso se hagan los ajustes pertinentes para que este brinde un mejor servicio a los usuarios.

Se pretende evaluar el nivel de servicio de cada uno de los grupos de carriles, accesos e intersección en general; Convirtiendo los volúmenes horarios dados en tasas de flujos utilizando el factor de la hora máxima demanda (FHMD), y calculando el tráfico de saturación establecidos por grupos de carriles asociados con las tasas de flujos y la proporción de giros.

Se realizo el análisis de capacidad para cada grupo de carriles, el grado de saturación crítico, así como también se calculará el nivel de servicio para los accesos y para toda la intersección, por medio de las herramientas de la Ingeniería de Tránsito.

Para tratar el problema que se presenta en la intersección del Mercado Iván Montenegro, ubicada al Este de esta ciudad se debe seguir ciertos pasos que permiten el planteamiento del mismo, de tal manera que la solución sea lógica y práctica.

La simulación como artificio de estudio, consiste en diseñar un modelo de un sistema real, con la finalidad de comprender de una manera sencilla el comportamiento del sistema ó evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos, el funcionamiento del sistema consiste en hacer un riguroso estudio del problema del congestionamiento del tráfico; luego especificar los índices de medición del sistema y establecer el Modelamiento con el software WinQSB. La simulación es un paso muy importante en la investigación para el mejoramiento del flujo vehicular.

En particular este estudio tiene como finalidad optimizar las medidas de rendimiento en las fases del semáforo ubicado en el Mercado Iván Montenegro.

2. ANTECEDENTE

El departamento de Matemática y Estadística de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, realizó con ayuda de estudiantes de la carrera de Matemática en el año 2003 y 2008 estudios independientes del volumen de tráfico, en cuanto a los tiempos de retardo y embotellamientos en las horas de máxima demanda del flujo vehicular en los semáforos de Villa Fontana (Enitel) y Rubenia respectivamente, donde se encontraron algunas dificultades en los ciclos de los semáforos de estas intersecciones, sobre todo en las horas de máxima demanda (HMD) u horas pico. Para encontrar estos primeros resultados se hizo una medida efectiva de vehículos por tres días desde las 6:00 AM hasta las 7:00 PM haciendo equivalencia entre los vehículos para tener una medida estándar de las llegadas y salidas a estos semáforos.

Estas investigaciones, si bien es cierto que contaron con cálculos estadísticos-matemáticos, su trascendencia quedó a un nivel explorativo, pues no se profundizó en el análisis y propuestas de soluciones a la problemática ahí planteada. Con el objetivo de dar a conocer resultados, se tomó la iniciativa de mejorarlos introduciendo ingeniería de tránsito y se incorporó también un elemento nuevo (SIMULACION), considerando los tiempos y las fases del semáforo como un proceso de colas con tiempos de servicio exponencial y llegadas poisson.

No obstante existen otros estudios que realizaron estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería:

- *Iniciativa del ordenamiento y señalización vial de las intersecciones (Ópticas Múnkel, Palmiras y Cementerio de Granada).*

Este trabajo se realizó con el fin de ayudar al ordenamiento en dicha zona, ya que el desarrollo de la actividad humana ha ocasionado una mayor demanda de transporte y circulación peatonal.

- *Estudio de tráfico 'Intersección Villa Progreso', Cruce: Pista Sub-Urbana – Pista Camino Solo.*

El estudio que se llevó a cabo en esta intersección, fue para dar solución a la problemática que se presentaba en Villa Progreso ya que dicha intersección es en forma de cruz con la diferencia que se forma parte de ella, dos intersecciones secundarias.

- *Estudio de las principales intersecciones semaforizadas en distrito uno y cinco.*

En este trabajo lo que se pretende es dar posibles soluciones a los problemas en las intersecciones con altos valores de atrasos, números de paradas, filas; que provocan consecuencias negativas a los usuarios de las vías y crean problemas de fluidez vehicular resultando valores excesivos de consumo de combustible y emisión de humo, e de ahí la motivación que conllevó a realizar esta investigación.

Cabe mencionar que estos trabajos investigativos son de vital importancia para la población en general, y al ver esta problemática que a diario vemos por las avenidas de nuestras capital surge la motivación de realizar nuestro esbozo investigativo.

3. JUSTIFICACION

El objetivo principal de la regulación del tráfico por medio de los semáforos, es para que pase el mayor número posible de vehículos por segundo en la intersección y se produzcan tiempos de retención mínimos.

Esta situación ideal no se logra frecuentemente ya que existe la necesidad de dar, también, prioridad a otras vías importantes que cruzan la primera vía, que se considera principal. También, se pueden producir obstáculos cuando la circulación de las calles transversales no sólo cruza la vía principal, si no que se integra en ella aumentando la cola de vehículos frente a un semáforo.

Lo que se persigue con la realización de esta investigación, es aportar a la solución del problema del congestionamiento en las horas de máxima demanda en los semáforos del Mercado Iván Montenegro, con la determinación de los tiempos óptimos de espera del tráfico vehicular, a través de una serie de modelos matemáticos para tal efecto, y con la ayuda del software WinQSB, simular, precisar y avalar todo cuanto se desarrolle con los modelos matemáticos y así poder mejorar los tiempos y el volumen del tráfico.

Este trabajo se une a las líneas investigativas que la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, a través del Departamento de Matemática y Estadística de la Facultad de Ciencia e Ingeniería. Teniendo esta monografía un interés teórico y práctico dentro el campo de la Ingeniería de Tránsito.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivos General

Optimizar los tiempos de espera del flujo vehicular en horas de máxima demanda en el semáforo ubicado en el mercado Iván Montenegro, en julio del año 2014.

4.2 Objetivos Específico

- Interpretar los datos de la matriz de volumen de tráfico en horas de máxima demanda, realizado por el Departamento de Viabilidad de la Alcaldía de Managua, en el semáforo ubicado en el Mercado Iván Montenegro.
- Analizar y procesar los datos recolectados mediante un modelo matemático de optimización en las líneas de espera.
- Determinar las medidas óptimas que permitan realizar estimaciones del flujo vehicular en el semáforo ubicado en el Mercado Iván Montenegro y realizar una simulación de esos valores con el software WinQSB.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Conceptos Previos

Tránsito vehicular: El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle.

Vía: es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. El elevado nivel de vida de un país se relaciona con un excelente sistema vial o viceversa.

Intersección: es el espacio físico compartido por varias líneas de flujo donde se presenta conflicto de movimientos entre estas.

Ciclo: Tiempo total que requiere una sucesión completa de los intervalos de un semáforo.

Fase: Es una parte del ciclo donde se le asigna el derecho de vía a un flujo de movimientos no conflictivos entre sí.

Intervalo: Tiempo durante el cual el semáforo presenta la misma señal.

Flujo de Transito: Los conteos son la fuente de información con la cual se definen las características de los flujos de tránsito, tales como: la cantidad, el sentido y la composición de vehículos. El análisis de estos flujos constituye una herramienta para realizar estudios de capacidad, cálculo de tiempos semaforicos, pasos peatonales especiales, islas para el refugio de peatones.

La función principal de los semáforos: en el control de una intersección es dar el paso alternativamente a los distintos grupos de vehículos, peatones, bicicletas y/u otro sistema de transporte, de tal manera que estos pasen a través de la intersección con un mínimo de problemas, riesgos y demoras.

Los objetivos del diseño de una intersección regulada por semáforos son:

- Reducir y prevenir cierto tipo de accidentes en la intersección y en las intersecciones aleñas.
- Reducir las demoras que experimentan los peatones y los vehículos al intentar cruzar la intersección, y al mismo tiempo evitar los obstáculos en las intersecciones más cercanas causado por colas largas.
- Reducir el consumo de combustible de los vehículos en la intersección.
- Reducir la emisión de contaminantes al aire. Para que dichos objetivos se cumplan, el elemento fundamental es sincronizar el ciclo de los semáforos, es decir, la secuencia de estados (rojo, verde, etc.) por la que pasan los semáforos y que se repite de manera cíclica.

El ciclo de los semáforos se debe estudiar desde tres puntos de vista distintos:

1. La longitud del ciclo completo de un semáforo, es decir, el tiempo necesario para que se dé una sucesión completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador. Independientemente de lo que resulte de los cálculos, la duración del ciclo tiene que estar forzosamente comprendida entre los límites que fija la psicología del conductor. La práctica indica que ciclos menores de 35 segundos o mayores de 120 se acomodan difícilmente a la mentalidad del usuario de la vía pública. (Sánchez-Toscano Barbero, J.2003)
2. El porcentaje del tiempo dedicado para cada una de las fases, es decir el porcentaje del tiempo dedicado a cada una de las combinaciones de indicaciones que permiten uno o varios movimientos simultáneos a través de la intersección.

3. Las transiciones entre los semáforos consecutivos. Un ejemplo típico de esta circunstancia es la presencia de dos semáforos consecutivos en una avenida.

La coordinación de las intersecciones de un itinerario consiste en programar el encendido de las luces de los semáforos de tal forma que los vehículos puedan atravesar la vía, de extremo a extremo, a una velocidad constante y sin detenerse (Tiempo de verde). Para ello es necesario determinar el desfase entre el instante de encendido de las luces verdes de los diferentes cruces. Este desfase viene dado en función de la velocidad deseada y de las distancias entre intersecciones. Los niveles de servicio para las intersecciones controladas con semáforos que definen de acuerdo con la demanda que deben soportar los conductores, en la que también hay consumo de combustible y pérdida de tiempo.

5.2 Niveles de Servicio:

Se establecen entonces, como demora promedio por parada de cada vehículo:

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERISTICAS DE LA OPERACION	DEMORAS (Segundos)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no se detienen	<10
B	Ocurre con una buena sincronía y ciclos corto los vehículos empiezan a detenerse	10–20
C	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.	20–35
D	Empieza a notarse la influencia del congestionamiento ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	35–55
E	Es el límite aceptable de la demora, indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	55–80
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores del flujo exceden la capacidad de La intersección o cuando las relaciones v/c son menores a 1 pero con una sincronía muy Pobre y/o ciclos demasiados largos.	>80

(TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000)

Para sincronizar de forma óptima los ciclos de los semáforos, se han empleado diversas técnicas matemáticas que van desde la programación matemática con restricciones de equilibrio (de Schutter, B. y de Moor, B., (1998)) útiles para la realización de análisis estratégicos del tráfico, hasta las técnicas de optimización aplicadas a modelos de simulación. (Wiering et al., (2004)).

En ingeniería de tránsito, la medición básica más importante es el conteo o aforo, ya sea de vehículos, ciclistas, pasajeros y/ o peatones. Los conteos se realizan para obtener estimaciones de:

- Volumen
- Tasa de flujo
- Demanda
- Capacidad

Estos cuatro parámetros se relacionan estrechamente entre sí y se expresan en las mismas unidades o similares, sin embargo, no significan lo mismo.

El Volumen es el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto durante un tiempo específico.

La tasa de flujo q , es la frecuencia a la cual pasan los vehículos (o personas) durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente. Se calcula

$$q = \frac{N}{T}$$

Donde:

$N =$ es el número de vehículos

$T =$ el tiempo específico, inferior a una hora expresada en $\left(\frac{\text{Veh}}{\text{minutos}}\right)$

o Vehículos por segundo (Veh/s)

La demanda es el número de vehículos (o personas) que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual, ya que algunos viajes se desvían hacia rutas alternas y otros simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial.

La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico.

Volumen de transito se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado, y se expresa como:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

Q = *vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)*

N = *número total de vehículos que pasan (vehículos)*

T = *periodo determinado (unidades de tiempo)*

Volumen horario de máxima demanda $VHMD$: es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

Factor de la hora máxima demanda $FHMD$: es la relación entre el volumen horario de máxima demanda $VHMD$, y el volumen máximo $Q_{máx}$, que se representa durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})}$$

Donde:

N = numero de periodo durante la hora de máxima demanda

Los periodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 ó 15 minutos, utilizándose éste último con mayor frecuencia, en cuyo caso el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(Q_{m\acute{a}x})}$$

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de transito en periodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

En el estudio de volumen de transito existen diversas formas para obtener los recuentos de los volúmenes de transito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole. Estas formas incluyen: los aforos manuales a cargo de personas, las cuales son particularmente útiles para conocer el volumen de movimientos direccionales en intersecciones. Los volúmenes por carriles individuales y la composición vehicular.

5.3 Elementos de un Sistema de Filas de Espera.

Se genera una cola cuando los usuarios (vehículos) llegan a una estación de servicios cualquiera, ya sea, por ejemplo, un estacionamiento, una intersección con semáforos o no, un "cuello de botella", un enlace de entrada a una autopista, un carril especial de vuelta, etc. La prestación del servicio para cada llegada toma cierto tiempo y puede ofrecerlo uno o más estaciones. En las siguientes figuras se muestran esquemáticamente diversos sistemas de filas de espera.

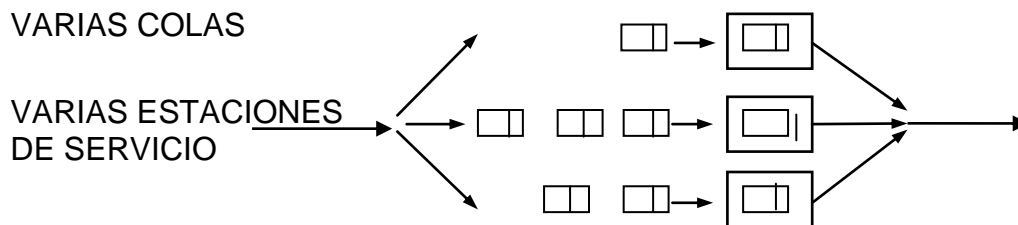
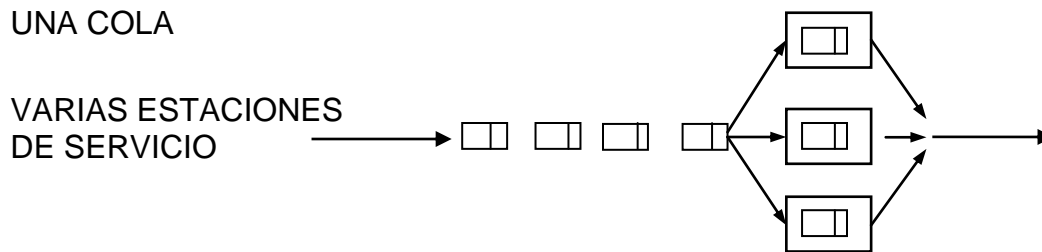
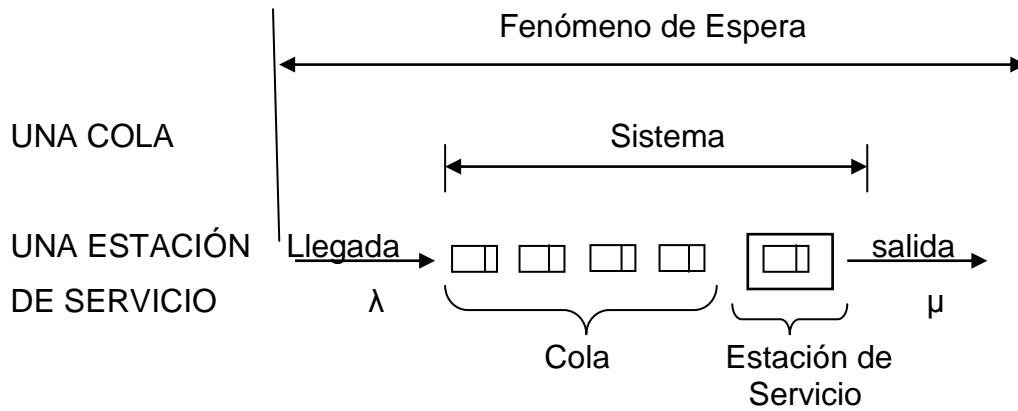


Diagrama - Sistema de filas de espera (Cal y Mayor)

Los vehículos llegan al sistema a una tasa de llegada λ . Entran a la estación de servicio si está desocupada, donde son atendidos a una tasa media de servicio μ equivalente a la tasa de salidas. Si la estación de servicio está ocupada se forman en la cola a esperar a ser atendidos.

Frecuentemente, tanto la tasa de llegadas como la tasa de servicio varían, y como consecuencia también variara la formación de colas. Se define la cola como el número de vehículos que esperan ser servidos, sin incluir aquellos que actualmente están siendo atendidos.

Para considerar de una manera apropiada un sistema de filas de espera se requiere tener en cuenta la naturaleza de su comportamiento, puesto que tanto las llegadas como los servicios varían con el tiempo. En este sentido, el comportamiento de la cola y los modelos necesarios para describirla, o caracterizarla, dependen de la representación explícita de los siguientes elementos que conforman el proceso:

1. Las llegadas (demanda) o características de entrada:

Las llegadas pueden ser expresadas en términos de tasas de flujo (vehículos/hora) o intervalos de tiempo (segundos/vehículos). Su distribución puede ser de tipo determinístico o probabilístico.

2. Los servicios (capacidad) o característica de salida:

También pueden ser expresados como tasas de flujo o intervalos. Su distribución también puede ser de tipo determinístico o probabilístico.

3. El procedimiento de servicio o disciplina de la cola:

En la mayoría de los sistemas viales el procedimiento de servicio consiste en que el primero que llega es el primero que sale.

El régimen que define las características de un fenómeno de espera se denota por tres valores alfanuméricos representados de la siguiente manera:

$$a / b / c$$

Donde:

a = identifica el tipo de llegadas

b = identifica el tipo de servicios o salidas

c = identifica el número de estaciones de servicio

Así por ejemplo, un fenómeno de espera con un régimen $D / D / 1$ supone llegadas y salidas de tipo determinístico o a intervalos uniformes con una estación de servicio. Por otra parte, un régimen $M / M / 1$ supone llegadas y salidas de tipo probabilístico (se simboliza con la letra M pues se asume que el proceso es del tipo de modelo de Markov) o distribuidas exponencialmente con una estación de servicio.

5.4 Análisis Determinístico del Congestionamiento

El análisis determinístico consiste en el cálculo preciso del valor de una variable en función de ciertos valores específicos que toman otras variables. Esto es, solamente ocurrirá un valor de la función objetivo para un conjunto dado de valores de las variables de entrada.

En situaciones de congestionamiento, donde los patrones de llegada y servicios son altos, los enfoques a nivel macroscópico son los que más se aproximan a este fenómeno, describiendo la operación vehicular en términos de sus variables de flujo, generalmente tomadas como promedios.

5.5 Análisis de Intersecciones con Semáforos con Régimen $D / D / 1$.

La intersección con semáforos es uno de los ejemplos más típicos de un fenómeno de espera, puesto que por la presencia de la luz roja existirá la formación de colas de vehículos.

La capacidad de un acceso a una intersección con semáforos se expresa en términos del flujo de saturación s . Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos a través de la línea de ALTO se incrementa rápidamente a una tasa equivalente al flujo de saturación, la cual se mantiene constante hasta que la cola se disipa o hasta que termina el verde. El flujo de saturación es la tasa máxima de salidas que puede ser obtenida cuando existen colas.

5.6 Concepto de Capacidad Vial

En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura, se considera como una cantidad conocida. Una medida de eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda, es su capacidad u oferta.

Teóricamente la capacidad (q_m) se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que razonablemente pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. Como se sabe, que el volumen en 15 minutos así obtenido es convertido a tasa de flujo horaria, entonces la capacidad de un sistema vial, es la tasa máxima horaria.

La infraestructura vial, sea ésta una carretera o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos y señales de alto que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, independientemente de la cantidad de vehículos, tales como los semáforos, las intersecciones de prioridad con señales de alto y ceda el paso, y otros tipos de regulación.

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad y calidad de operación.

Por lo tanto, el principal objetivo del análisis de capacidad, es estimar el máximo número de vehículos (personas) que un sistema vial puede acomodar con razonable seguridad durante un período específico. Sin embargo, los sistemas operan pobremente a capacidad; pero generalmente ellos raramente se planifican para operar en este rango.

A su vez, mediante los análisis de capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose aquí el concepto de nivel de servicio.

5.7 Concepto de Nivel de Servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en

el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, las pendientes, etc.

5.8 Cálculo de la Tasa de Flujo

La tasa de flujo horaria deberá reflejar la variación temporal del flujo vehicular dentro de la hora, la influencia de los vehículos pesados y las características de la población de conductores o usuarios. Estos efectos se reflejan ajustando el volumen horario dado en vehículos mixtos, para así llegar a una tasa de flujo horaria expresada en vehículos equivalentes o livianos, de la siguiente manera:

$$v_p = \frac{v}{(FHMD)(N)(f_{HV})(f_G)}$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente en 15 minutos (vehículos livianos / h / carril)

V = volumen horario por sentido (vehículos mixtos / h)

$FHMD$ = factor de la hora de máxima demanda

N = número de carriles por sentido

f_{HV} = factor ajuste por presencia de vehículos pesados

f_G = factor de ajuste por pendiente

Los valores típicos del $FHMD$ varían entre 0.85 y 0.95. Valores bajos del $FHMD$ son característicos de autopistas rurales o condiciones no pico. Valores altos del $FHMD$ son típicos de condiciones pico en autopistas urbanas y suburbanas.

El factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = factor de ajuste por efecto de vehículos pesados

P_T = porcentaje de camiones en la corriente vehicular

P_B = porcentaje de autobuses en la corriente vehicular

P_R = porcentaje de vehículos recreativos en la corriente vehicular

E_T = automóviles equivalentes a un camión

E_B = automóviles equivalentes a un autobús

E_R = automóviles equivalentes a un vehículo recreativo

La expresión para f_{HV} se puede deducir fácilmente, planteando, como se mencionó anteriormente, una condición prevaleciente en función de una condición base, mediante la siguiente relación:

condición prevaleciente = (condición Base) × (Factor de Ajuste) Con referencia a flujos vehiculares o volúmenes, dicha igualdad se puede escribir así:

$$\text{Volumen Mixto} = (\text{Volumen Equivalente}) \times (\text{Factor de Ajuste})$$

Un volumen mixto está compuesto por camiones (T), autobuses (B), vehículos recreativos (R) y automóviles (A). Esto es:

$$\text{Volumen Mixto} = Q_M = T + B + R + A$$

En términos generales, un volumen equivalente Q_E o base, se define en unidades de automóviles, y se obtiene multiplicando el volumen mixto por sus respectivos automóviles equivalentes. Por lo tanto:

$$Q_M = Q_E(f_{HV})$$

$$f_{HV} = \frac{Q_M}{Q_E} = \frac{Q_M}{T(E_T) + B(E_B) + R(E_R) + A}$$

Sumando y restando Q_M en el denominador:

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{Q_M}{Q_M + T(E_T) + B(E_B) + R(E_R) + A - Q_M} \\ &= \frac{Q_M}{Q_M + T(E_T) + B(E_B) + R(E_R) + A - T - B - R - A} \\ &= \frac{Q_M}{Q_M + T(E_T - 1) + B(E_B - 1) + R(E_R - 1)} \\ &= \frac{1}{\frac{Q_M}{Q_M} + \frac{T}{Q_M}(E_T - 1) + \frac{B}{Q_M}(E_B - 1) + \frac{R}{Q_M}(E_R - 1)} \\ &= \frac{100}{100 + \frac{T}{Q_M} 100(E_T - 1) + \frac{B}{Q_M} 100(E_B - 1) + \frac{R}{Q_M} 100(E_R - 1)} \end{aligned}$$

Observe que:

$$\frac{T}{Q_M} 100 = \text{porcentaje de camiones} = P_T$$

$$\frac{B}{Q_M} 100 = \text{porcentaje de autobuses} = P_B$$

$$\frac{R}{Q_M} 100 = \text{porcentaje de recreativos} = P_R$$

Por lo que finalmente el factor de ajuste f_{HV} se convierte en:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

No hay ninguna evidencia para indicar las diferencias en la operación entre los camiones y los autobuses en las autopistas; por consiguiente, se tratan los camiones y los autobuses idénticamente.

El efecto de los vehículos pesados (camiones y autobuses) en la corriente de tránsito depende de las condiciones de las pendientes, así como de la composición de los volúmenes de tránsito. Pueden seleccionarse factores de equivalencia de vehículos livianos para cada una de las tres siguientes condiciones: segmentos extensos de autopistas (en terreno a nivel, ondulado y montañoso), tramos específicos en pendientes ascendentes y tramos específicos en pendientes descendentes.

El factor de ajuste para tener en cuenta las características de la población de conductores o usuarios, parte de la condición base representativa de conductores regulares familiarizados con el medio por el cual circulan. Los valores del factor de ajuste f_p varían de 0.85 a 1.00. Se aplica el valor de 1.00 cuando se presentan viajeros comunes, a menos que haya evidencia para aplicar un valor más bajo. Menores valores pueden presentarse en autopistas recreacionales en fines de semana o días feriados.

5.9 Determinación de la Tasa de Flujo

Deben realizarse tres ajustes al volumen horario de demanda, con base en los conteos manuales de tránsito o en estimaciones, para así llegar a una tasa de flujo horaria expresada en vehículos equivalentes o livianos, de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{V}{(FHMD)(f_{HV})(f_g)}$$

Donde:

V_p = tasa de flujo equivalente en 15 minutos (vehículos livianos/h/ambos sentidos) .

V = volumen horario de máxima demanda en ambos sentidos (vehículos-mixtos/h).

$FHMD$ = factor de la hora de máxima demanda

f_{HV} = factor ajuste por presencia de vehículos pesados

f_G = factor de ajuste por pendiente

Los valores típicos de $FHMD$ son 0.88 para carreteras rurales y 0.92 para carreteras urbanas.

El factor de ajuste por pendiente f_G , considera el efecto del terreno en las velocidades de viaje y en el porcentaje de tiempo empleado en seguimiento, aún cuando ningún vehículo pesado esté presente. El terreno plano es cualquier combinación de alineamientos horizontal y vertical que le permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad de los vehículos livianos en pendientes menores al 2%. El terreno en lomerío incluye longitudes cortas a medianas con pendientes menores al 4%. Segmentos con longitudes amplias y con pendientes mayores al 4% deberán ser analizados con el procedimiento de pendientes específicas para segmentos direccionales.

El factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = factor de ajuste por efecto de vehículos pesados

P_T = porcentaje de vehículos pesados en la corriente vehicular
(incluyendo los autobuses)

P_R = porcentaje de vehículos recreativos en la corriente vehicular

E_T = automóviles equivalentes a un vehículo pesado

E_R = automóviles equivalentes a un vehículo recreativo

6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS OPERACIONAL

Mediante el análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que nivel de servicio de la intersección como un todo o globalmente, a partir de una información detallada de las condiciones prevaecientes geométricas, del tránsito y del control semafórico.

6.1 Condiciones Geométricas

La geometría de la intersección generalmente se presenta en diagramas, que se refieren a la configuración física de la intersección en términos de número de carriles, ancho de carriles, movimientos por carril, ubicación de estacionamientos, longitudes de bahías para vueltas y pendientes de los accesos.

6.2 Datos Necesarios Para el Análisis de Cada Grupo de Carriles.

Tipo de condición	Parámetro
Geométricas	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de área
	<ul style="list-style-type: none"> Número de carriles N
	<ul style="list-style-type: none"> Ancho promedio de carriles W(m)
	<ul style="list-style-type: none"> Pendiente, G(%)
	<ul style="list-style-type: none"> Existencia de Carriles Exclusivos, LT o RT.
	<ul style="list-style-type: none"> Longitud de bahías, LT o RT, L_s(m)
	<ul style="list-style-type: none"> Estacionamiento
Transito	<ul style="list-style-type: none"> Volumen de demanda por movimiento, V(veh/h)
	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de flujo de saturación base s₀ (vehículos livianos/h/carril)
	<ul style="list-style-type: none"> Factor de la hora de máxima demanda, FHMD.
	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de vehículos pesados, HV (%)
	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de flujo peatonal en el acceso, v_{ped}(peatones /h)
	<ul style="list-style-type: none"> Autobuses locales que paran en la intersección, N_b(autobuses/h)
	<ul style="list-style-type: none"> Actividad de estacionamiento, N_m(maniobras/h)
	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de llegadas, AT proporción de vehículo que llegan en verde, P
	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de aproximación, S_A(Km/h)
Semáforo	<ul style="list-style-type: none"> Longitud del ciclo, C(s)
	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo verde, G(s)
	<ul style="list-style-type: none"> Amarillo + todo rojo, intervalo de cambio y despeje entre verde, Y(s)
	<ul style="list-style-type: none"> Operación accionada o prefijada
	<ul style="list-style-type: none"> Botón peatonal
	<ul style="list-style-type: none"> Verde mínimo peatonal, G_p(s)
	<ul style="list-style-type: none"> Plan de fases
	<ul style="list-style-type: none"> Periodo de análisis, T(h)

(Fuentes: TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000)¹ (Cal y Mayor)

6.3 Condiciones del Tránsito

Se debe disponer de los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso y su composición en términos de automóviles, autobuses y camiones. Se debe considerar también el número de autobuses urbanos que realizan paradas, antes y después de la intersección, para cargar y descargar pasajeros. Los autobuses que no paran se consideran como vehículos pesados. Igualmente se deben aforar los flujos peatonales y de bicicletas que entran en conflicto con las vueltas permitidas a la derecha. Los flujos peatonales y de bicicletas utilizados para analizar un acceso dado, son los flujos en el cruce peatonal que interfiere con los vehículos que dan vuelta a la derecha; así por ejemplo, para el acceso Este, los flujos peatonales y de bicicletas usadas para el análisis son los del cruce peatonal Norte.

6.4 Condiciones del Tránsito

Se debe disponer de los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso y su composición en términos de automóviles, autobuses y camiones. Se debe considerar también el número de autobuses urbanos que realizan paradas, antes y después de la intersección, para cargar y descargar pasajeros. Los autobuses que no paran se consideran como vehículos pesados. Igualmente se deben aforar los flujos peatonales y de bicicletas que entran en conflicto con las vueltas permitidas a la derecha. Los flujos peatonales y de bicicletas utilizados para analizar un acceso dado, son los flujos en el cruce peatonal que interfiere con los vehículos que dan vuelta a la derecha; así por ejemplo, para el acceso Este, los flujos peatonales y de bicicletas usadas para el análisis son los del cruce peatonal Norte.

La relación de pelotón R_p se calcula como:

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{c}}$$

Donde:

- *P*: Proporción de todos los vehículos que llegan durante la fase verde
- *C*: Longitud del ciclo (s)
- *G*: Verde efectivo del grupo de carriles (s)

Condiciones de los semáforos

Se refiere a la información del diagrama de fases que ilustre el plan de fases, longitud del ciclo, tiempos de verde e intervalos de cambio y despeje, para cada uno de los movimientos dados.

6.5 Agrupación de Carriles

Un grupo de carriles es un conjunto de carriles de un acceso que carga un conjunto de flujos vehiculares. Se deben establecer en la intersección grupos de carriles apropiados, considerando tanto la geometría de la intersección como la distribución de los movimientos vehiculares. En general, deberán establecerse grupos de carriles separados, cuando se disponga de bahías exclusivas de vuelta a izquierda y a la derecha; los demás carriles directo se consideran en un grupo simple de carriles.

Cuando se tenga carriles de vuelta a izquierda compartidos, se deberá evaluar la operación en el carril compartido para determinar si efectivamente funciona como carril exclusivo de vuelta a la izquierda, debido a la presencia de altos volúmenes de vuelta a la izquierda. Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un grupo de carriles simple. En caso de ser mayor, el carril exterior se debe designar como n carril exclusivo de vuelta a la izquierda en un grupo de carriles separado. Matemáticamente esto se expresa así:

$$V_I < \frac{V_a - V_I}{N - 1} \quad (1)$$

$$V_I \geq \frac{V_a - V_I}{N - 1} \quad (2)$$

Donde:

V_I = volumen actual de vuelta a la izquierda (vehículos/h)

V_a = volumen actual en el acceso (vehículos/h)

N = número de carriles del acceso

Si se cumple la desigualdad (1), el carril extremo izquierdo es un carril compartido y se usa un solo grupo de carriles para todo el acceso. Si por el contrario, se cumple la desigualdad (2), el carril extremo izquierdo actúa como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y, por lo tanto, deberá establecerse como un grupo separado de carriles.

6.6 Determinación de la Tasa de Flujo

Es necesario convertir los volúmenes horarios a tasas de flujo durante 15 minutos a través del factor de la hora de máxima demanda, así:

$$V_P = \frac{V}{FHMD}$$

Donde:

V_P = tasa de flujos durante los 15 minutos más cargados (vehículos/h)

V = volumen horario (vehículos/h)

$FHMD$ = factor de la hora de máxima demanda

Debido a que no todos los movimientos en la intersección tienen el volumen máximo durante el mismo intervalo de 15 minutos, es aconsejable observar

directamente los flujos en cada 15 minutos y seleccionar un período crítico de análisis. Se tiene un criterio conservador, si se usan diferentes períodos máximos.

6.7 Determinación de la Tasa de Flujo de Saturación

La tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo (esto es, $g/C = 1.0$).

Las condiciones prevaleciente del tránsito incluyen los volúmenes por tipo de movimiento (izquierda, directo, derecha), su composición vehicular (automóviles, autobuses, camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas. Las condiciones prevalecientes de la calle describen las características geométricas de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento. Las condiciones prevalecientes del semáforo incluyen la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

El flujo de saturación se expresa en vehículos por hora de luz verde, y puede determinarse mediante estudios de campo o calcularse con la siguiente expresión:

$$s_i = s_0(N)(f_w)(f_{HV})(f_g)(f_P)(f_{bb})(f_a)(f_{LU})(f_{LT})(f_{RT})(f_{Lpb})(f_{Rpb})$$

Donde:

s_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i
(vehículos/hora verde).

s_0 = tasa de flujo de saturación base por carril (autos/hora verde/carril)

N = número de carriles del grupo de carriles

f_w = factor de ajuste por ancho de carriles

f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados

f_g = factor de ajuste por pendientes del acceso

f_p = factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb} = factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección.

f_a = factor de ajuste por tipo de área

f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carriles

f_{LT} = factor de ajuste por vueltas a la izquierda

f_{RT} = factor de ajuste por vueltas a la derecha

f_{Rpb} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha.

7. RELACIÓN VOLUMEN A CAPACIDAD

7.1 Capacidad

La capacidad en una intersección con control con semáforos se define para cada acceso o grupo de carriles, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la calle y del semáforo. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right) \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

c_i = capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h)

s_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

g_i = tiempo verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes)

C = ciclo del semáforo (segundos)

g_i/C = relación de verde efectivo para el grupo de carriles i .

7.2 Relación Volumen a Capacidad

La relación volumen a capacidad, típicamente llamada grado de saturación, y simbolizado con la letra X_i , se calcula como:

$$X_i = \frac{v_i}{c_i}$$

Donde v_i , es la tasa de flujo de demanda actual o proyectada del grupo de carriles i . reemplazando la capacidad dada por la ecuación (3), se obtiene:

$$X_i = \frac{v_i}{s_i \frac{g_i}{C}} = \frac{\left(\frac{v}{s}\right)_i}{\left(\frac{g_i}{C}\right)}$$

En esta última expresión, al cociente $(v/s)_i$, se le denomina relación de flujo. Obsérvese que cuando la tasa de flujo v_i es igual a la capacidad c_i , el grado de saturación X_i es igual a 1.00 y cuando la tasa de flujo v_i es cero, X_i es igual a cero. Valores de X_i superiores a 1.00, indican un exceso de demanda sobre la capacidad.

Para evaluar globalmente la intersección, con respecto a su geometría y al ciclo, se utiliza el concepto de grado de saturación crítico de la intersección X_c . Considera

solamente los accesos o grupos de carriles críticos, definidos como aquellos que tienen la relación de flujo más alta para cada fase $(v/s)_{ci}$. Se define como:

$$X_c = \left(\frac{C}{C-L} \right) \left[\sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \right]$$

Donde:

X_c = relación volumen a capacidad crítica de la intersección

C = ciclo del semáforo (s)

L = tiempo total perdido por ciclo (s)

$\sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci}$ = sumatoria de las relaciones de flujo de todos los grupos de carriles críticos i .

7.3 Determinación de las Demoras

Los valores derivados de los cálculos representan la demora media por control experimentada por todos los vehículos que llegan en el período de análisis, incluidas las demoras que ocurren antes del período de análisis cuando el grupo de carriles está sobresaturado. La demora por control incluye los movimientos a velocidades bajas y las detenciones en los accesos a la intersección, cuando los vehículos disminuyen la velocidad corriente arriba a cambian de posición en la cola. Se calcula como:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

Donde:

d = demora media por control (s/veh)

d_1 = demora uniforme (s/veh), suponiendo llegadas uniformes

PF = factor de ajuste por coordinación, tiene en cuenta los efectos de la coordinación de los semáforos

d_2 = demora incremental (s/veh), que tiene en cuenta el efecto de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el periodo de análisis (supone que no existe cola inicial al comienzo del periodo de análisis)

d_3 = demora por cola inicial (s/veh), que tiene en cuenta las demoras de todos los vehículos debido a la presencia de colas iniciales antes del periodo de análisis.

7.4 Factor de Ajuste por Coordinación

Una buena coordinación de semáforos dará como resultado una proporción alta de vehículos que llegan en el verde. La coordinación afecta principalmente a la demora uniforme, por lo que se realiza el ajuste sólo a d_1 , mediante la siguiente expresión.

$$PF = \left(\frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} \right)$$

Dónde:

P = proporción de vehículos que llegan en verde

g/C = proporción de tiempos verde disponibles

f_{PA} = factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde

Si se llevan a cabo mediciones de campo, P deberá determinarse como la proporción de los vehículos en el ciclo que llegan a la línea de pare o que se unen a la cola (estática o en movimiento) mientras se despliega la fase verde. El valor de P también se puede estimar como:

$$P = R_P \left(\frac{g}{C} \right)$$

Donde:

R_p representa la relación de grupo de vehículos.

7.5 Demora Uniforme

La demora uniforme d_1 , es la que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, tal que no existe saturación durante ningún ciclo. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{1 - \left[\min(1, x) \frac{g}{c}\right]}$$

7.6 Demora Incremental

La demora incremental d_2 , toma en consideración las llegadas aleatorias, que ocasiona que algunos ciclos se sobresaturen. Se expresa como:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right]$$

Dónde:

T = duración del período de análisis (0.25h)

k = factor de demora incremental que depende del ajuste

I = factor de ajuste por entradas por entradas de la intersección corriente arriba (cuadro 15-7 del manual) $I = 1.00$ para intersecciones aisladas.

7.7 Demora por Cola Inicial

Cuando una cola residual o remanente existe antes del periodo de análisis T , los vehículos experimentan (los que llegan durante T) una demora adicional, debido que la cola inicial deberá primero desalojar la intersección.

En los caso en los que $X > 1.0$ para un periodo de 15 minutos, el siguiente periodo empieza con una cola inicial llamada Q_b en vehículos. Q_b se debe observar al inicio del rojo. Cuando $Q_b \neq 0$, los vehículos que llegan durante el periodo de análisis experimentaran una demora adicional por la presencia de la cola inicial. La demora por cola inicial d_3 , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_3 = \frac{1,800Q_b(1+u)t}{cT}$$

Donde:

Q_b = cola inicial al principio del periodo T (*veh*)

c = capacidad vehicular (*veh/h*)

T = duración del periodo de análisis (0.25 h)

t = duración de la demanda insatisfecha h

u = parámetro de demanda

7.8 Existen Cinco Escenarios, para Estimar Esta Demora:

- Caso I: el período es no saturado sin cola inicial, $Q_b = 0$, Por lo tanto $d_3 = 0$
- Caso II: el período es sobresaturado sin cola inicial, $Q_b = 0$, Por lo tanto $d_3 = 0$
- Caso III: ocurre cuando la cola inicial, Q_b se disipa durante T . para que esto ocurra deberá cumplirse que $Q_b + qT < cT$, siendo qT la demanda total en T , y cT la capacidad disponible en T .

- Caso IV: ocurre cuando existe aún demanda insatisfecha al final T , pero decreciente. Para que esto ocurra deberá cumplirse que $qT < cT$.
- Caso V: ocurre cuando la demanda en T , excede la capacidad. Aquí la demanda insatisfecha se incrementa al final de T . Para que esto ocurra deberá cumplirse que $qT > cT$.

Para los casos III, IV y V:

$t = 0$ si $Q_b = 0$, de otra manera:

$$t = \min \left\{ T, \frac{Q_b}{c[1 - \min(1, X)]} \right\}$$

$u = 0$ si $t < T$, de otra manera:

$$u = 1 - \frac{cT[1 - \min(1, X)]}{Q_b}$$

El tiempo de despeje T_c , se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_c = \text{Máx} \left(T, \frac{Q_b}{c} + TX \right)$$

7.9 Demoras agregadas

La demora en cualquier acceso, se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso, utilizando los flujos ajustados de los grupos de carriles, según:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i}$$

Donde:

$A =$ número de grupo de carriles en el acceso A

$d_A =$ demora en el acceso A (s / veh)

$d_i =$ demora en el grupo de carriles i , en el acceso A (s / veh)

$v_i =$ volumen ajustado del grupo de carriles (veh / h)

La demora en la intersección, igualmente se determina como un promedio ponderado de las demoras en todos los accesos de la integración, según:

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^I (d_A v_A)}{\sum_{A=1}^I v_A}$$

Donde:

$I =$ número de accesos de la intersección I

$d_I =$ demora en la intersección I (s / veh)

$d_A =$ demora en los accesos A (s / veh)

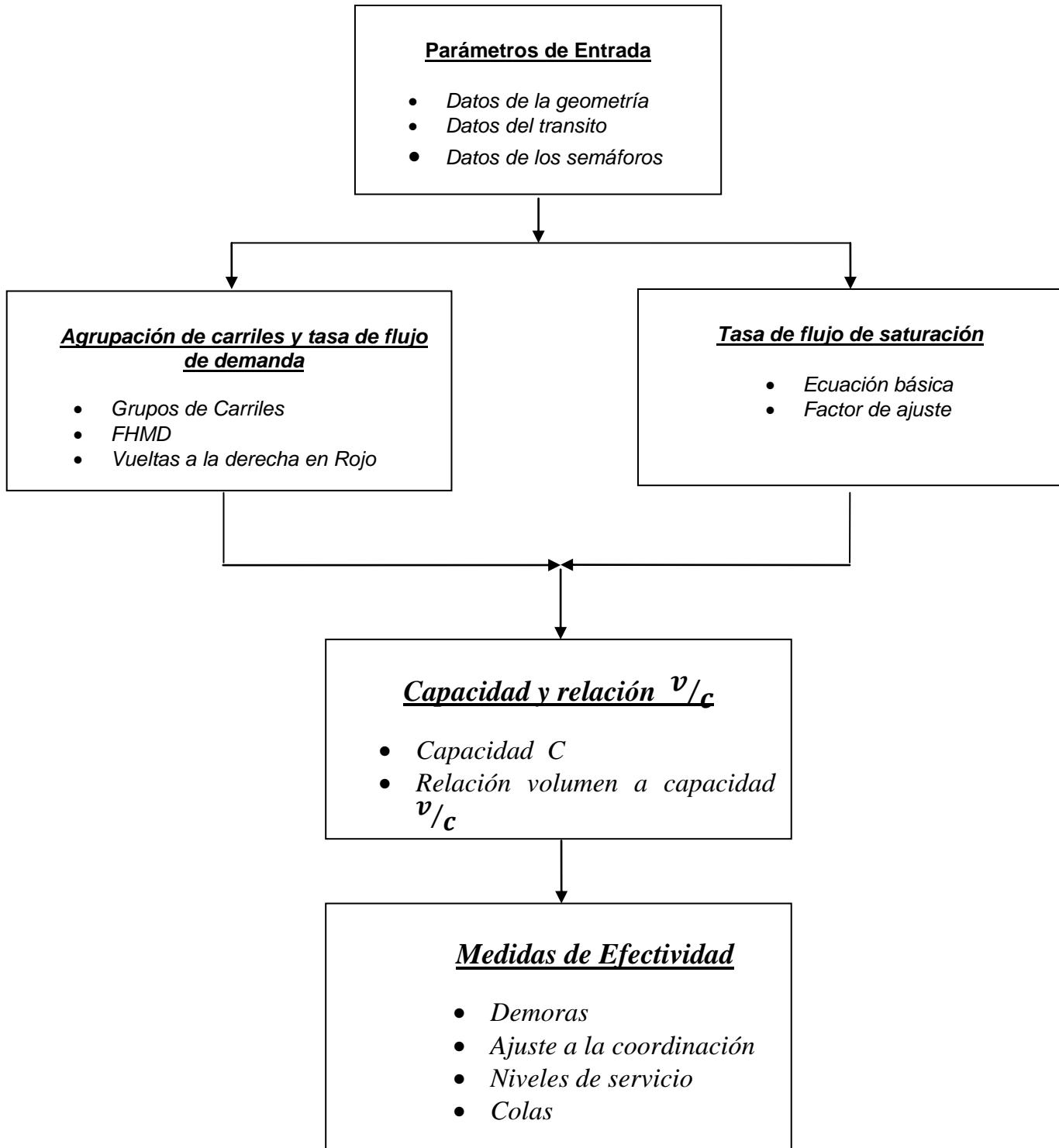
$v_A =$ volumen ajustado del acceso A (veh / h)

Determinación del nivel de servicio

Como se ha descrito anteriormente, el nivel de servicio de una intersección está directamente relacionado con la demora promedio por controles por vehículo. Una vez obtenida la demora para cada grupo de carriles y agregada para cada acceso y para la intersección como un todo, se determinan los niveles de servicio, consultando la tabla de niveles de servicios en intersección con semáforo.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

Esquema Metodológico Para el Análisis de Intersección con Semáforo



(TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000)

9. PRESENTACIÓN DEL ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque metodológico aplicado al análisis del flujo vehicular en horas de máxima demanda, mediante la utilización de herramientas propias de la simulación, con el objetivo de presentar una solución de buena calidad, esto consiste en la minimización de las demoras, o tiempos de espera, la cual ayude a mejorar el tráfico vehicular en la intersección de los semáforos Mercado Iván Montenegro.

Este enfoque se desarrolla de la siguiente manera:

Primero se revisó los parámetros óptimos con los datos (conteo vehicular) recolectados en la intersección en estudio, la cual se realizó en el mes de Julio del año 2014, datos por los cuales los obtuvimos con la ayuda de la alcaldía de Managua, posteriormente proseguimos al análisis de la matriz de datos, para valorar de manera teórica el funcionamiento de los semáforos en estudio, con el fin de dar solución a nuestro principal objetivo.

Seguidamente se evaluó una propuesta de funcionamiento para compararla con la anterior, para ello se tuvo en cuenta las fases del semáforos y colas promedio, longitud de los vehículos, tasa de reparto, tiempos de programación actual de los semáforos, entre otras variables.

Por último se utilizaron estos parámetros para realizar una Simulación con el programa WinQSB y evaluar de forma más precisa los resultados, esto permitió presentar un modelo de teoría de colas, el cual, describe la situación actual con el objetivo de caracterizar el flujo vial que presenta dicha población.

En síntesis el desarrollo de la metodología en este trabajo investigativo, usó datos de campo (Matriz del flujo vehicular) y conceptos teóricos, simulación mediante el software WinQSB, Se proveen procedimientos analíticos para dos aplicaciones, operacionales y planeación.

Tipo de estudio: el estudio que se estará realizando, a partir de este protocolo, es de *carácter analítico*. Este consistirá en el análisis de una matriz de datos referidos al tráfico en el semáforo del Mercado Iván Montenegro, para optimizar los tiempos de espera, haciendo una validación de la misma optimización con el software WinQSB, que realizara una simulación de los valores encontrados.

La investigación también puede ser considerada transversal, porque se planea tomar un conjunto de mediciones para un periodo de tiempo, no tan extenso (de más o menos un mes). Y no se harán posteriores mediciones en el sitio.

9.1 Tipos de Variables

Los tipos de variables englobados en nuestros estudios y que aparecen en las distintas tablas propuestas:

- Cuantitativa: tiempo de espera, volumen vehicular, ancho de carril.

A continuación se presentan las tablas experimentales, llamadas cada una "Módulo".

10. DESARROLLO

10.1 Valores Del Semáforo Sin Optimizar

El semáforo actualmente funciona en un ciclo prefijado de 82 segundos, distribuidos en cuatro fases, tal y como aparece en la siguiente tabla.

10.2 Fases del Semáforo

Fase No.	Acceso	Tiempos (segundos)			C
		Verde	Amarillo	Rojo	
1	Norte (N)	18	3	61	82
2	Este (E)	T → 24	3	38	82
		L → 16			
3	Oeste (O)	T → 24	3	38	82
		L → 16			
4	Sur (S)	18	3	61	82

10.3 Módulo de Análisis de Capacidad (7:15–8:15) AM

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Grupos de Carriles	L	T	L	T	L	T	L	T
Números de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_2	ϕ_4	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_3	ϕ_1	ϕ_1
Tipo de Fase: P = prefijada, A = accionada	P	P	P	P	P	P	P	P
Tasa de Flujo Ajustado del grupo: V_i (veh/h)	279	458	49	847	131	156	125	186
Flujo de Saturación ajustado: S_i (veh/hverde)	1,480	3,115	1,466	3,087	1,576	3,318	1,560	3,284
Tiempo verde efectivo: g_i (s)	15	23	15	23	11	11	17	17
Relación de verde: g_i/C	0.18	0.28	0.18	0.28	0.14	0.14	0.21	0.21
Capacidad del grupo de carriles: C_i (Veh/h)	310	872	263	864	221	465	327	689
Relación volumen a capacidad: $X_i = V_i/C_i$	0.90	0.53	0.19	0.98	0.59	0.34	0.38	0.27
Relación de Flujo : V_i/S_i	0.19	0.15	0.03	0.27	0.08	0.05	0.08	0.06
Grupo de carriles críticos por fases:	✓	✓		✓	✓		✓	

10.4 Módulo del Nivel de Servicio (7:15–8:15) AM

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Grupos de Carriles	L	T	L	T	L	T	L	T
Tasa de flujo ajustado del grupo: V_i (veh/h)	279	458	49	847	131	156	125	186
Relación de verde: g_i/C	0.18	0.28	0.18	0.28	0.21	0.21	0.21	0.21
Capacidad del grupo de carriles: C_i (Veh/h)	310	872	263	864	330	696	327	689
Relación volumen a capacidad: $X_i = V_i/C_i$	0.90	0.53	0.19	0.98	0.40	0.22	0.38	0.27
Demora Uniforme: d_1 (S/veh)	32.0	24.3	27.9	28.3	27.4	26.2	27.1	26.5
Demora Incremental: d_2 (S/veh)	27.8	1.7	2.0	23.4	3.1	17.4	2.0	0.4
Demora por cola Inicial: d_3 (S/veh)	0	0	0	0	0	0	0	0
Demora Media por Control del Grupo: d_i (S/veh)	59.8	26	29.9	51.7	31.0	44.0	29.1	26.9
Nivel de servicio del Grupo de carriles	E	C	C	D	C	D	C	C
Demora por Accesos: d_A (S/veh)	38.8		50.5		38.1		27.8	
Nivel de Servicio por Acceso	D		D		D		C	
Demora en Todas las Intersecciones: d_I (S/veh)	42.0							
Nivel de servicio global de la Intersección	D							

10.5 Módulo del Nivel de Servicio (5:30–6:30) PM

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
	EB		WB		NB		SB	
Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Grupos de Carriles	L	T	L	T	L	T	L	T
Tasa de flujo ajustado del grupo: V_i (veh/h)	415	640	96	444	131	156	204	283
Relación de verde: g_i/C	0.22	0.28	0.22	0.28	0.14	0.14	0.20	0.20
Capacidad del grupo de carriles: C_i (Veh/h)	336	901	283	758	221	465	309	650
Relación volumen a capacidad: $X_i = V_i/C_i$	1.24	0.71	0.34	0.59	0.59	0.34	0.66	0.44
Demora Uniforme: d_1 (S/veh)	28.48	25.56	25.97	22.63	30.67	30.67	27.72	27.72
Demora Incremental: d_2 (S/veh)	128.03	4.07	2.79	2.89	9.56	1.70	9.15	1.85
Demora por cola Inicial: d_3 (S/veh)	0	0	0	0	0	0	0	0
Demora Media por Control del Grupo: d_i (S/veh)	156.51	29.63	28.76	25.52	40.23	32.37	36.87	29.57
Nivel de servicio del Grupo de carriles	F	C	C	C	D	C	D	C
Demora por Accesos: d_A (S/veh)	77.66		25.70		35.97		32.50	
Nivel de Servicio por Acceso	E		C		D		C	
Demora en Todas las Intersecciones: d_I (S/veh)	51.10							
Nivel de servicio global de la Intersección	E							

11. PROPUESTA DE LOS TIEMPOS EN LAS FASES DEL SEMÁFORO

Logramos reducir en general los tiempos de espera o “*demoras*”, esto implica un mayor flujo de vehículos por segundo y que se produzcan tiempos de retardación mínimos, aquí se presentan esos tiempos óptimos.

Fase No.	Acceso	Tiempos (segundos)			C
		Verde	Amarillo	Rojo	
1	Norte (N)	17	3	59	79
2	Este (E)	23	3	53	79
3	Oeste (O)	18	3	58	79
4	Sur (S)	12	3	64	79

- *EB: Sentido del flujo vehicular hacia el Este (acceso oeste)*
- *WB: Sentido del flujo vehicular hacia el oeste (acceso Este)*
- *NB: Sentido del flujo vehicular hacia el norte (acceso Sur)*
- *SB: Sentido del flujo vehicular hacia el sur (acceso Norte)*
- *LT: Movimiento de vuelta a la izquierda*
- *TH: Movimiento de frete o directo*
- *RT: Movimiento de vuelta a la derecha*

V: n° de vehículos que pasan por un punto durante un tiempo específico

FHMD: factor Hora Máxima Demanda

$$FHMD = \frac{VHMD}{Q_{15}máx}$$

VHMD: Volumen Hora Máxima Demanda

$$FHMD = \frac{3078}{4(794)} = 0.967$$

$$VP = \frac{V}{FHMD} \Rightarrow VP = \frac{265}{0.97} = 279$$

11.1 Módulo de Ajuste del Volumen (7:15–8:15) AM

Mediante este Modulo se convierten los volúmenes horarios (V) dados en tasas de flujos v_p utilizando el factor de la hora de máxima demanda ($FHMD$).

Accesos	Oeste			Este			Sur			Norte		
Sentido del Flujo vehicular	EB			WB			NB			SB		
Movimientos	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volúmenes: V (veh/h)	265	444	-	48	822	-	150	273	-	121	180	-
FHMD	0.97	0.97	-	0.97	0.97	-	0.97	0.97	-	0.97	0.97	-
Flujo Ajustado: V_p (veh/h)	279	458	-	49	847	-	145	264	-	125	186	-
Grupo de Carriles	L	T	-	L	T	-	L	T	-	L	T	-
Número de Carriles: N	1	2	-	1	2	-	1	2	-	1	2	-
Flujo del Grupo: V_i (veh/h)	279	458	-	49	847	-	258	305	-	125	186	-
Prop. De vueltas: P_{LT} o P_{RT}	1	0	-	1	0	-	1	0	-	1	0	-

$$FHMD = \frac{3018}{4(788)} = 0.957$$

11.2 Módulo de Ajuste del Volumen (5:30–6:30) PM

Accesos	Oeste			Este			Sur			Norte		
Sentido del Flujo vehicular	EB			WB			NB			SB		
Movimientos	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volúmenes: V (veh/h)	398	614	-	92	426	-	126	150	-	196	272	-
FHMD	0.96	0.96	-	0.96	0.96	-	0.96	0.96	-	0.96	0.96	-
Flujo Ajustado: V_p (veh/h)	415	640	-	96	444	-	131	156	-	204	283	-
Grupo de Carriles	L	T	-	L	T	-	L	T	-	L	T	-
Número de Carriles: N	1	2	-	1	2	-	1	2	-	1	2	-
Flujo del Grupo: V_i (veh/h)	415	640	-	96	444	-	131	156	-	204	283	-
Prop. De vueltas: P_{LT} o P_{RT}	1	0	-	1	0	-	1	0	-	1	0	-

12. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS/ACCESOS

12.1 Porcentajes de Vehículos/Accesos hora (7:15–8:15) AM

OESTE	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(O-N)	48	184	28	4	264
(O-E)	109	266	57	12	444
(O-S)	21	42	0	9	72
TOTAL	178	492	85	25	780
%	22.8	63.1	10.9	3.2	100

ESTE	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(E-S)	8	24	13	3	48
(E-O)	215	526	70	11	822
(E-N)	14	127	18	3	162
TOTAL	237	677	101	17	1032
%	22.9	65.6	9.7	1.6	100

SUR	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(S-O)	97	145	0	8	250
(S-N)	86	207	0	1	294
(S-E)	2	22	4	0	28
TOTAL	185	374	4	9	572
%	32.3	65.4	0.6	1.5	100

NORTE	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(N-E)	10	92	16	3	121
(N-S)	33	140	2	5	180
(N-O)	81	274	25	8	390
TOTAL	124	506	43	16	689
%	17.9	73.5	6.2	2.3	100

GRAN TOTAL %	MOTO	AUTOS	BUSES	CAMIONES	TOTAL
Cantidad	724	2049	233	67	3073
%	23.5	66.7	7.6	2.1	100

12.2 Porcentajes de Vehículos/Accesos hora (5:30–6:30) PM

OESTE	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(O-N)	53	318	20	7	398
(O-E)	115	427	54	18	614
(O-S)	42	143	1	3	189
TOTAL	210	888	75	28	1201
%	17.5	73.9	6.2	2.3	100

ESTE	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(O-N)	17	55	19	1	92
(O-E)	59	308	54	5	426
(O-S)	16	100	13	3	132
TOTAL	92	463	86	9	650
%	14.2	71.1	13.2	1.4	100

SUR	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(S-O)	21	103	0	2	126
(S-N)	31	116	0	3	150
(S-E)	1	8	3	0	12
TOTAL	53	227	3	5	288
%	18.5	78.7	1.04	1.7	100

NORTE	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
(N-E)	30	135	30	1	196
(N-S)	83	187	0	2	272
(N-O)	49	335	22	5	411
TOTAL	162	657	52	8	879
%	18.5	74.7	5.9	0.9	100

GRAN TOTAL %	MOTO	AUTO	BUSES	CAMIONES	TOTAL
Cantidad	517	2235	216	50	3018
%	17.1	74.1	7.2	1.6	100

Acceso (oeste) (7:15–8:15) AM

Dónde:

$$S_0 = 1900 \text{ veh\u00edculos livianos/h verde/carril}$$

$$N = 2$$

$$F_w = 1 + \frac{w - 3.6}{9} = 1 + \frac{3.5 - 3.6}{9} = 0.99$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1)}$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + 3.2(2 - 1) + 10.9(1.5 - 1)} = 0.92$$

$$F_g = 1 - \frac{\%6}{200} = \frac{\%0}{200} = 1$$

$$F_p = 1.00$$

$$F_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 N_B}{3600}}{N} = 1$$

$$F_a = 0.90$$

$$F_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1}N} = 1$$

$$F_{LT} = 0.95$$

$$F_{RT} = 1.0 - 0.15(0) = 1$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + (P_B - 1)}$$

$$\text{Acceso Este } F_{HV} = \frac{100}{100 + 1.65(2 - 1) + 9.77(1.5 - 1)} = 0.94$$

$$\text{Acceso Sur } F_{HV} = \frac{100}{100 + 1.57(2 - 1) + 0.70(1.5 - 1)} = 0.98$$

$$\text{Acceso Norte } F_{HV} = \frac{100}{100 + 2.32(2 - 1) + 6.24(1.5 - 1)} = 0.97$$

5:30 - 6:30 PM

$$\text{Acceso Este } F_{HV} = \frac{100}{100 + 1.4(2 - 1) + 13.2(1.5 - 1)} = 0.93$$

$$\text{Acceso Sur } F_{HV} = \frac{100}{100 + 1.7(2 - 1) + 1.04(1.5 - 1)} = 0.98$$

$$\text{Acceso Norte } F_{HV} = \frac{100}{100 + 0.9(2 - 1) + 5.92(1.5 - 1)} = 0.96$$

$$\text{Acceso Oeste } F_{HV} = \frac{100}{100 + 2.33(2 - 1) + 6.24(1.5 - 1)} = 0.95$$

$P_T = \% \text{ Camiones}$

$P_B = \% \text{ Autobuses}$

$E_T = \text{Automoviles equivalentes a un camión}$

$E_B = \text{Automoviles equivalentes a un autobus}$

$F_g = \text{Factor ajuste por pendiente de acceso}$

$F_P = \text{Factor ajuste para vehículos no estacionados}$

$F_a = \text{Factor ajuste por tipo de área}$

$F_{LU} = \text{Factor ajuste por utilización de carriles}$

$F_{RT} = \text{Factor ajuste por vuelta a la izquierda (carril exclusivo)}$

$V_g = \text{Tasa de flujo de demanda no ajustadas del grupo de carril } \left(\frac{veh}{h}\right)$

$N = n^\circ \text{ carriles del grupo.}$

$N_B = n^\circ$ de buses que paran por hora ; $0 \leq N_B \leq 250$; $F_{bb} \geq 0.050$

Carril exclusivo 0.85

Carril compartido = $1.0 - 0.15 P_{RT}$

Carril simple = $1.0 - 0.135 P_{RT}$

12.3 Módulo del Flujo de Saturación (7:15–8:15) AM

Mediante este módulo se calcula el flujo de saturación bajo condiciones prevalecientes para cada uno de los grupos de carriles establecidos, a partir de un flujo de saturación o bases en condiciones ideales, el cual es ajustado mediante factores.

Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Grupos de Carriles								
Números de Carriles: N	1	2	1	2	1	2	1	2
Flujo de Saturación base: S_0 (aut/h , verde/carril)	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
Factor de Ajuste por ancho de carrieles: f_w	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Factor de Ajuste por vehículos pesado: f_{HV}	0.92	0.92	0.94	0.94	0.98	0.98	0.97	0.97
Factor de Ajuste por pendiente del acceso : f_g	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por estacionamiento: f_p	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	1.00	1.00	0.97	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por tipo de área: f_a	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Factor de Ajuste por utilización de Carriles: f_{LU}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por vuelta a la izquierda: f_{LT}	0.95	1.00	0.95	1.00	0.95	1.00	0.95	1.00
Factor de Ajuste por vuelta a la derecha: f_{RT}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste izquierdo peatones y Ciclistas: f_{LPb}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste derecha peatones y Ciclistas: f_{Rpb}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Flujo de Saturación base: S_i (veh/h verde)	1,480	3,115	1,466	3,087	1,576	3,318	1,560	3,284

12.4 Módulo del Flujo de Saturación (5:30–6:30) PM

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
	EB		WB		NB		SB	
Sentido del Flujo vehicular	L	T	L	T	L	T	L	T
Grupos de Carriles								
Números de Carriles: N	1	2	1	2	1	2	1	2
Flujo de Saturación base: S_0 (aut/h , verde/carril)	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
Factor de Ajuste por ancho de carriles: f_w	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Factor de Ajuste por vehículos pesado: f_{HV}	0.95	0.95	0.93	0.93	0.98	0.98	0.96	0.96
Factor de Ajuste por pendiente del acceso : f_g	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por estacionamiento: f_p	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	1.00	1.00	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por tipo de área: f_a	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Factor de Ajuste por utilización de Carriles: f_{LU}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste por vuelta a la izquierda: f_{LT}	0.95	1.00	0.95	1.00	0.95	1.00	0.95	1.00
Factor de Ajuste por vuelta a la derecha: f_{RT}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste izquierdo peatones y Ciclistas: f_{LPb}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de Ajuste derecha peatones y Ciclistas: f_{Rpb}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Flujo de Saturación base: S_i (veh/h verde)	1,528	3,217	1,286	2,708	1,576	3,318	1,544	3,250

12.5 Módulo de Análisis de Capacidad (7:15–8:15) AM

En este módulo se calcula para cada grupo de carriles la capacidad C_i y la relación volumen capacidad $(V/C)_i$ lo mismo que el grado de saturación crítico de la intersección X_c .

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
	EB		WB		NB		SB	
Grupos de Carriles	L	T	L	T	L	T	L	T
Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Números de la fase: φ_i	φ_2	φ_2	φ_4	φ_4	φ_3	φ_3	φ_1	φ_1
Tipo de Fase: P = prefijada, A = accionada	P	P	P	P	P	P	P	P
Tasa de Flujo Ajustado del grupo: V_i (veh/h)	279	458	49	847	145	264	125	186
Flujo de Saturación ajustado: S_i (veh/hverde)	1,480	3,115	1,466	3,087	1,576	3,318	1,560	3,284
Tiempo verde efectivo: g_i (s)	17	22	17	22	11	11	16	16
Relación de verde: g_i/C	0.22	0.28	0.22	0.28	0.14	0.14	0.20	0.20
Capacidad del grupo de carriles: C_i (Veh/h)	326	872	323	864	221	465	312	656
Relación volumen a capacidad: $X_i = V_i/C_i$	0.86	0.53	0.15	0.98	0.65	0.56	0.40	0.28
Relación de Flujo : V_i/S_i	0.19	0.15	0.03	0.27	0.09	0.07	0.08	0.06
Grupo de carriles críticos por fases:	✓			✓		✓	✓	

12.6 Módulo de análisis de capacidad (5:30–6:30) PM

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
	EB		WB		NB		SB	
Grupos de Carriles	L	T	L	T	L	T	L	T
Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Números de la fase: φ_i	φ_2	φ_2	φ_4	φ_4	φ_3	φ_3	φ_1	φ_1
Tipo de Fase: P = prefijada, A = accionada	P	P	P	P	P	P	P	P
Tasa de Flujo Ajustado del grupo: V_i (veh/h)	415	640	96	444	131	156	204	283
Flujo de Saturación ajustado: S_i (veh/hverde)	1,528	3,217	1,286	2,708	1,576	3,318	1,544	3,250
Tiempo verde efectivo: g_i (s)	17	22	17	22	11	11	16	16
Relación de verde: g_i/C	0.22	0.28	0.22	0.28	0.14	0.14	0.20	0.20
Capacidad del grupo de carriles: C_i (Veh/h)	336	901	283	758	221	465	309	650
Relación volumen a capacidad: $X_i = V_i/C_i$	1.24	0.71	0.34	0.59	0.59	0.34	0.66	0.44
Relación de Flujo : V_i/S_i	0.27	0.20	0.07	0.16	0.08	0.05	0.13	0.09
Grupo de carriles críticos por fases:	✓			✓	✓		✓	

$$C_i = S_i \left(\frac{g_i}{C} \right);$$

donde:

C_i = Capacidad de grupos de carriles i (veh/h)

S_i = Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles (veh/hora verde)

g_i = Tiempo verde efectivo para el grupo de carriles i (seg verdes)

C = Ciclo del semáforo (seg)

g_i/C = Relación de verde efectivo

para el grupo de carriles

$$C_i = 1480 \left(\frac{17s}{79s} \right)$$

$$C_i = 1480(0.22) = 326$$

Relación Volumen Capacidad

$$X_i = \frac{V_i}{C_i} = \frac{279}{326} = 0.86$$

7:15 - 8:15 AM

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g_{TR}}{C} \right)^2}{1 - \left[\min(1, X_{TR}) \frac{g_{TR}}{C} \right]}$$

OESTE

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.28)^2}{1 - [(0.53)(0.25)]} = 24.07 \text{ s/veh}$$

ESTE

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.22)^2}{1 - [(0.15)(0.22)]} = 24.9 \text{ s/veh}$$

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.28)^2}{1 - [(0.15)(0.28)]} = 21.4 \text{ s/veh}$$

SUR

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.14)^2}{1 - [(0.65)(0.14)]} = 32.5 \text{ s/veh}$$

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.14)^2}{1 - [(0.65)(0.14)]} = 32.5 \text{ s/veh}$$

NORTE

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.20)^2}{1 - [(0.28)(0.20)]} = 26.8 \text{ s/veh}$$

$$d_1 = \frac{0.5(79)(1 - 0.20)^2}{1 - [(0.28)(0.20)]} = 26.8 \text{ s/veh}$$

$$d_2 = 900T \left[(X_{TR} - 1) + \sqrt{(X_{TR} - 1)^2 + \frac{8KIX_{TR}}{c_{TR}T}} \right]$$

OESTE

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.86 - 1) + \sqrt{(0.86 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.86)}{(326)(0.25)} \right)} \right]$$

$$= 21.7 \text{ s/veh}$$

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.53 - 1) + \sqrt{(0.86 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.53)}{(872)(0.25)} \right)} \right]$$

$$d_2 = 2.0 \text{ s/veh}$$

ESTE

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.15 - 1) + \sqrt{(0.98 - 1) + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.53)}{(872)(0.25)} \right)} \right]$$

$$d_2 = 0.8 \text{ s/veh}$$

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.98 - 1) + \sqrt{(0.98 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.98)}{(864)(0.25)} \right)} \right]$$

$$d_2 = 23.9 \text{ s/veh}$$

SUR

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.65 - 1) + \sqrt{(0.65 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.65)}{(221)(0.25)} \right)} \right]$$

$$d_2 = 11.2 \text{ s/veh}$$

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.56 - 1) + \sqrt{(0.56 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.56)}{(465)(0.25)} \right)} \right]$$

$$d_2 = 3.2 \text{ s/veh}$$

NORTE

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.40 - 1) + \sqrt{(0.40 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.40)}{(312)(0.25)} \right)} \right] = 3.25 \text{ s/veh}$$

$$d_2 = 900(0.25) \left[(0.28 - 1) + \sqrt{(0.28 - 1)^2 + \left(\frac{8(0.5)(0.858)(0.28)}{(656)(0.25)} \right)} \right] = 0.9 \text{ s/veh}$$

$$d_N = \frac{\sum_{i=1}^2 (d_i V_i)}{\sum_{i=1}^2 V_i}$$

NORTE

$$d_N = \frac{(30.1)(125) + (27.8)(186)}{125 + 186} = 28.7$$

SUR

$$d_N = \frac{(43.7)(145) + (264)(35.7)}{145 + 264} = 38.5$$

ESTE

$$d_N = \frac{(25.7)(49) + (45.3)(847)}{49 + 847} = 44.2$$

OESTE

$$d_N = \frac{(48.6)(279) + (26.07)(458)}{279 + 458} = 34.6$$

$$d_i = \frac{\sum_{A=1}^4 (d_A V_A)}{\sum_{A=1}^4 V_A}$$

$$d_i = \frac{(34.6)(737) + (44.2)(896) + (38.5)(409) + (28.7)(311)}{737 + 896 + 409 + 311}$$

$$d_i = 38.0 \text{ s/veh}$$

12.7 Módulo del Nivel de Servicio

Mediante este módulo se calculan las demoras para los grupos de carriles, para los accesos y para toda la intersección, con el fin de determinar los niveles de servicios ofrecidos por cada uno de estos elementos.

Módulo del Nivel de Servicio (7:15–8:15) AM

Accesos	Oeste		Este		Sur		Norte	
Sentido del Flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Grupos de Carriles	L	T	L	T	L	T	L	T
Tasa de flujo ajustado del grupo: V_i(veh/h)	279	458	49	847	145	264	125	186
Relación de verde: g_i/C	0.22	0.28	0.22	0.28	0.14	0.14	0.20	0.20
Capacidad del grupo de carriles: C_i (Veh/h)	326	872	323	864	221	465	312	656
Relación volumen a capacidad: $X_i = V_i/C_i$	0.86	0.53	0.15	0.98	0.65	0.56	0.40	0.28
Demora Uniforme: d_1 (S/veh)	26.9	24.07	24.9	21.4	32.5	32.5	26.8	26.8
Demora Incremental: d_2 (S/veh)	21.7	2.0	0.8	23.9	11.2	3.2	3.3	0.9
Demora por cola Inicial: d_3 (S/veh)	0	0	0	0	0	0	0	0
Demora Media por Control del Grupo: d_i(S/veh)	48.6	26.07	25.7	45.3	43.7	35.7	30.1	27.8
Nivel de servicio del Grupo de carriles	D	C	C	D	F	D	C	C
Demora por Accesos: d_A (S/veh)	34.6		44.2		38.5		28.7	
Nivel de Servicio por Acceso	C		D		F		C	
Demora en Todas las Intersecciones: d_I (S/veh)	38.0							
Nivel de servicio global de la Intersección	D							

		Simulación de los valores óptimos con el software WinQSB, a partir de la relación volumen a capacidad FHMD, (7:15 – 8:15)AM							
		Oeste		Este		Sur		Norte	
		L	T	L	T	L	T	L	T
Llegadas	λ	0.19	0.15	0.03	0.27	0.16	0.09	0.08	0.06
salidas	μ	0.22	0.28	0.22	0.28	0.14	0.14	0.20	0.20

	Resultado por el Software WinQSB							
Utilización del Sistema en General	86.36%	53.57%	15.36%	98.05%	64.28%	56.42%	40%	28.41%

Relación Volumen a Capacidad Vs Utilización del Sistema en General	
0.86	86.36%
0.53	53.57%
0.15	15.36%
0.98	98.05%
0.65	64.28%
0.56	56.42%
0.4	40%
0.28	28.41%

13. CONCLUSIONES

- El tiempo de espera de un vehículo desde que entra al sistema hasta que sale es muy alta, por lo que se nos vimos en la necesidad de mejorar los tiempos en las fases del semáforo del Iván Montenegro.
- A través de la modificación en las fases del semáforo y la contrastación de estos tiempos con los que proporcionó la simulación de éstos empleando el software Win QSB, se logró comprobar que los valores encontrados son los que refleja un mayor flujo vehicular y, por tanto, la reducción en las demoras por acceso en la intersección.
- El ciclo en la intersección del mercado Iván Montenegro es actualmente de 82 segundos, por lo que, después de varias pruebas, llegamos a la conclusión de que el tiempo óptimo para reducir el congestionamiento en hora máxima demanda debía ser mejorado en 79 segundos divididos en las 4 fases como se explica en las tablas del desarrollo de este trabajo.
- El tiempo de espera o demoras en hora de máxima demanda (7:15 – 8:15AM) en todos los accesos en la intersección del Mercado Iván Montenegro se reducen de un 48.7 a un 38.0 segundos por vehículos.

14. RECOMENDACIONES

Hacer estudios en esta intercepción para un análisis en la infraestructura de los accesos Oeste-Norte, Este-Sur; ya que el espacio y el largo del carril para realizar el giro no es el adecuado, el cual se convierte en un factor del congestionamiento vehicular.

Hacer una revisión de las señales de tránsito, tanto horizontales como verticales, ya que esta intersección carece de ellas, lo que provoca accidentes de tránsito, los que se convierten en otro factor del congestionamiento vehicular en la zona.

Agregar, como asignatura facultativa, la ingeniería de tránsito, al menos a un nivel introductorio, para orientar los conocimientos teóricos matemáticos a la práctica ingenieril de cierta importancia socioeconómica.

15. BIBLIOGRAFÍA

Knuth, D.E the Art of Computer Programming. Vol.2. Segunda edición, Addison-Wesley, Reading Press. 1981.

Ingeniería de Carreteras / Wright. 5ta Edición.

Aplicación de Teoría de Colas En los semáforos para mejorar la movilidad en las Carreteras, de la Ciudad de Pereira. Mauricio González R. Edwar Jovan S. Universidad Tecnológica de Pereira.

Estudio de la Optimización del Trafico en un Cruce a Través del Ajuste de los ciclos de los Semáforos mediante reconocido Simulado. Universidad de Coruña, Lema Fernández, Carmen Pedreira A.

Hull, T, E, Dobell, A. R; Random Number Generators. SIAM review, Vol. 4, No 3, 1962.

Schutter, B. y de Moor,B. ((1998)).

www.googleearth.com

Intersección de los Semáforos Ivan M. Mercado Iván M.

Mayor, C. y. Ingenieria de Transito.

Sánchez-Toscano Barbero, J. (J.2003).

TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000. Transportation Research Board-National Research council.

Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. Octava edición, Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G

Investigación de Operación, 7ª edición. Hamdy A. Taha.

John D.Zegeer.

Barbero, S.-T. (, J.2003).

Wiering etal. ((2004)).

16. ANEXOS

Factores de Ajuste a la Tasa de Flujo de Saturación

Factor	Formula	Definición de Variables	Notas
Ancho de Carriles	$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$	$W =$ Ancho de Carril (m)	$W \geq 2.4m$ Si $W \geq 4.8m$, Analizar Como dos Car
Vehículos Pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}$	$\%HV =$ Porcentaje de Vehículos pesados del grupo.	$E_T = 2.4$ aut/pesados
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	$\%G =$ Porcentaje de Pendiente del Acceso	$-6 \leq \%G \leq +10$ Negativo en descenso.
Estacionamiento	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	$N =$ Numero de Carriles del grupo. $N_m =$ Numero de Maniobras de Estacionamiento/h	$0 \leq N_m \leq 180$ $f_p \geq 0.050$ $f_p = 1.000$ Para sin Estacionamiento.
Bloqueo de Buses	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	$N =$ Numero de Carriles del grupo. $N_B =$ Numero de buses que Paran Por hora.	$0 \leq N_B \leq 250$ $f_{bb} \geq 0.050$
Tipo de Área	$f_a = 0.900$ en CBD $f_a = 1.000$ en otras áreas	$CBD =$ Distrito Central de Negocios (Centro de la Ciudad)	
Utilización de Carriles	$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1}N}$	$V_g =$ Tasa de Flujo de demanda no Ajustada del grupo de Carril (Veh/h). $V_{g1} =$ Tasa de Flujo de demanda no Ajustada del Carril volumen mas Alto del grupo. $N =$ Numero de Carriles del grupo..	
Vuelta a la Izquierda	<i>Fase Protegida:</i> Carril Exclusivo: $f_{LT} = 0.95$ Carril Compartido: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05P_{LT}}$	$P_{LT} =$ Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles.	
Vuelta a la Derecha	Carril Exclusivo: $f_{RT} = 0.85$ Carril Exclusivo: $f_{RT} = 1.0 - 0.15P_{RT}$ Carril Simple: $f_{RT} = 1.0 - 0.135P_{RT}$	$P_{RT} =$ Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles.	$f_{RT} \geq 0.05$
Bloqueo por Peatones y bicicletas	<i>Ajuste: LT</i> $f_{LPb} = 1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA})$ <i>Ajuste: RT</i> $f_{RPb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$	$P_{LT} =$ Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles. $A_{pbT} =$ Ajuste a la fase Permitida. $P_{LTA} =$ Proporción de vueltas a la izquierda que usan la Fase Protegida. $P_{RT} =$ Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles. $P_{RTA} =$ Proporción de vueltas a la derecha que usan las Fase Protegida	Referirse al apendice D del capítulo 16 de HCM 2000 para el Cálculo paso a paso de los Factores de Ajuste.

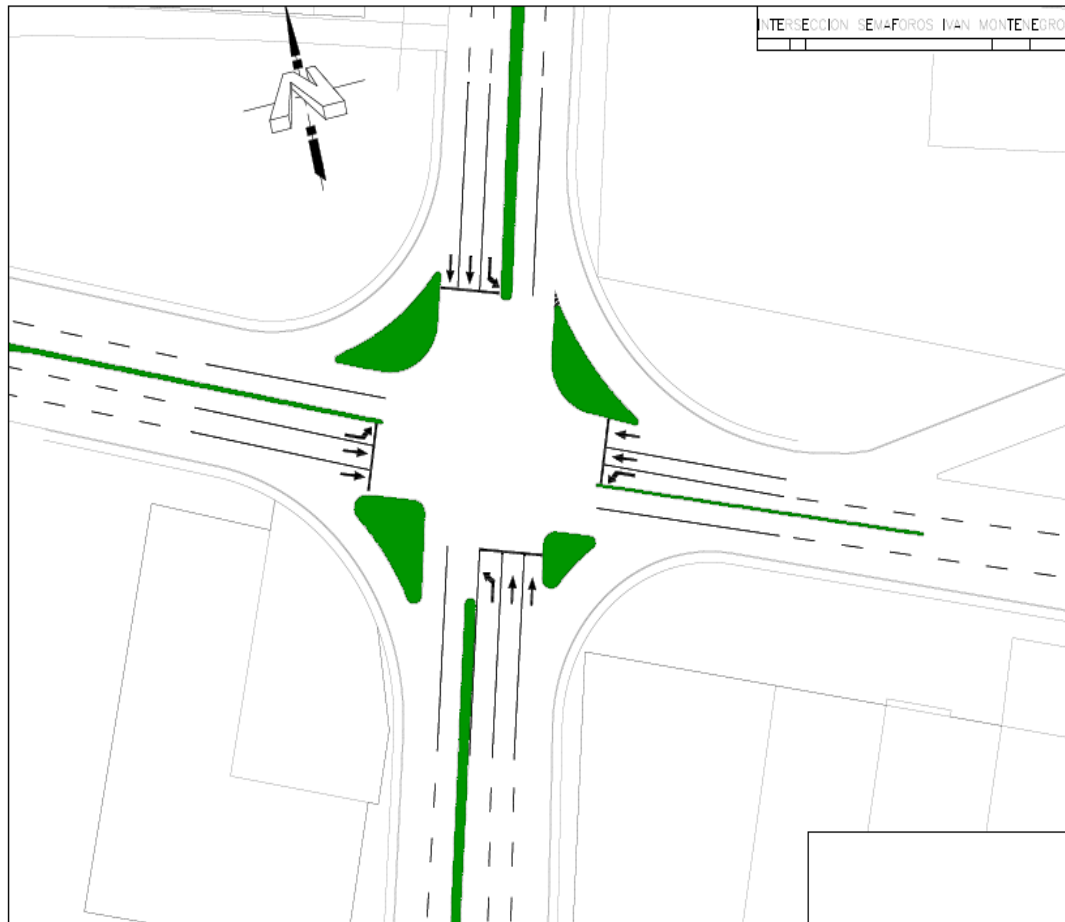
[Tabla 12.5] (Cal y Mayor)

Imágenes de Intersección a Estudiar



(Imagen 1)
(Intersección de los Semáforos Ivan M)
(Fuente googleearth)

Imágenes de Intersección a Estudiar



(Imagen 2)
(Intersección de los Semáforos Ivan M)
(Fuente Propia)

Capturas de la simulación de los parámetros a optimizar mediante el software WinQSB.

Acceso Oeste L:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.22
Customer arrival rate (per Sec)	0.19
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-07-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Formula
2	Customer arrival rate (λ) per Sec =	0.1900
3	Service rate per server (μ) per Sec =	0.2200
4	Overall system effective arrival rate per Sec =	0.1900
5	Overall system effective service rate per Sec =	0.1900
6	Overall system utilization =	86.3636 %
7	Average number of customers in the system (L) =	6.3333
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	5.4697
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	6.3333
10	Average time customer spends in the system (W) =	33.3333 Secs
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	28.7879 Secs
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	33.3333 Secs
13	The probability that all servers are idle (Po) =	13.6364 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	86.3636 %
15	Average number of customers being balked per Sec =	0
16	Total cost of busy server per Sec =	\$0
17	Total cost of idle server per Sec =	\$0
18	Total cost of customer waiting per Sec =	\$0
19	Total cost of customer being served per Sec =	\$0
20	Total cost of customer being balked per Sec =	\$0
21	Total queue space cost per Sec =	\$0
22	Total system cost per Sec =	\$0

Acceso Oeste T:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.28
Customer arrival rate (per Sec)	0.15
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-03-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Formula
2	Customer arrival rate (λ) per Sec =	0.1500
3	Service rate per server (μ) per Sec =	0.2800
4	Overall system effective arrival rate per Sec =	0.1500
5	Overall system effective service rate per Sec =	0.1500
6	Overall system utilization =	53.5714 %
7	Average number of customers in the system (L) =	1.1538
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.6181
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	1.1538
10	Average time customer spends in the system (W) =	7.6923 Secs
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	4.1209 Secs
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	7.6923 Secs
13	The probability that all servers are idle (Po) =	46.4286 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	53.5714 %
15	Average number of customers being balked per Sec =	0
16	Total cost of busy server per Sec =	\$0
17	Total cost of idle server per Sec =	\$0
18	Total cost of customer waiting per Sec =	\$0
19	Total cost of customer being served per Sec =	\$0
20	Total cost of customer being balked per Sec =	\$0
21	Total queue space cost per Sec =	\$0
22	Total system cost per Sec =	\$0

Acceso Este L:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.22
Customer arrival rate (per Sec)	0.03
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-07-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Simulation
2	Customer arrival rate (lambda) per Sec =	0.0300
3	Service rate per server (mu) per Sec =	0.2200
4	Overall system effective arrival rate per Sec =	0.0310
5	Overall system effective service rate per Sec =	0.0307
6	Overall system utilization =	15.3673 %
7	Average number of customers in the system (L) =	0.1783
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.0246
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	0.1604
10	Average time customer spends in the system (W) =	5.8072 Secs
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0.8026 Secs
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	5.2231 Secs
13	The probability that all servers are idle (Po) =	84.6327 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	15.3673 %
15	Average number of customers being balked per Sec =	0
16	Total cost of busy server per Sec =	\$0
17	Total cost of idle server per Sec =	\$0
18	Total cost of customer waiting per Sec =	\$0
19	Total cost of customer being served per Sec =	\$0
20	Total cost of customer being balked per Sec =	\$0
21	Total queue space cost per Sec =	\$0
22	Total system cost per Sec =	\$0
23	Simulation time in Sec =	3600.0000
24	Starting data collection time in Sec =	0
25	Number of observations collected =	111
26	Maximum number of customers in the queue =	2
27	Total simulation CPU time in second =	0.0800

Acceso Este T:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.28
Customer arrival rate (per Sec)	0.27
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-07-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Simulation
2	Customer arrival rate (lambda) per Sec =	0.2700
3	Service rate per server (mu) per Sec =	0.2800
4	Overall system effective arrival rate per Sec =	0.2730
5	Overall system effective service rate per Sec =	0.2572
6	Overall system utilization =	98.0570 %
7	Average number of customers in the system (L) =	26.7670
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	25.7864
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	26.2973
10	Average time customer spends in the system (W) =	91.9671 Secs
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	88.1548 Secs
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	89.9016 Secs
13	The probability that all servers are idle (Po) =	1.9430 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	98.0570 %
15	Average number of customers being balked per Sec =	0
16	Total cost of busy server per Sec =	\$0
17	Total cost of idle server per Sec =	\$0
18	Total cost of customer waiting per Sec =	\$0
19	Total cost of customer being served per Sec =	\$0
20	Total cost of customer being balked per Sec =	\$0
21	Total queue space cost per Sec =	\$0
22	Total system cost per Sec =	\$0
23	Simulation time in Sec =	3600.0000
24	Starting data collection time in Sec =	0
25	Number of observations collected =	926
26	Maximum number of customers in the queue =	64
27	Total simulation CPU time in second =	0.5210

Acceso Sur L:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.14
Customer arrival rate (per Sec)	0.09
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-18-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Formula
2	Customer arrival rate (λ) per hour =	0.0900
3	Service rate per server (μ) per hour =	0.1400
4	Overall system effective arrival rate per hour =	0.0900
5	Overall system effective service rate per hour =	0.0900
6	Overall system utilization =	64.2857 %
7	Average number of customers in the system (L) =	1.8000
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	1.1571
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	1.8000
10	Average time customer spends in the system (W) =	20.0000 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	12.8571 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	20.0000 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	35.7143 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	64.2857 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	\$0
17	Total cost of idle server per hour =	\$0
18	Total cost of customer waiting per hour =	\$0
19	Total cost of customer being served per hour =	\$0
20	Total cost of customer being balked per hour =	\$0
21	Total queue space cost per hour =	\$0
22	Total system cost per hour =	\$0

Acceso Sur T:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per hour)	0.14
Customer arrival rate (per hour)	0.07
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per hour	
Idle server cost per hour	
Customer waiting cost per hour	
Customer being served cost per hour	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-18-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Formula
2	Customer arrival rate (λ) per hour =	0.0790
3	Service rate per server (μ) per hour =	0.1400
4	Overall system effective arrival rate per hour =	0.0790
5	Overall system effective service rate per hour =	0.0790
6	Overall system utilization =	56.4286 %
7	Average number of customers in the system (L) =	1.2951
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.7308
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	1.2951
10	Average time customer spends in the system (W) =	16.3934 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	9.2506 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	16.3934 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	43.5714 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	56.4286 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	\$0
17	Total cost of idle server per hour =	\$0
18	Total cost of customer waiting per hour =	\$0
19	Total cost of customer being served per hour =	\$0
20	Total cost of customer being balked per hour =	\$0
21	Total queue space cost per hour =	\$0
22	Total system cost per hour =	\$0

Acceso Norte L:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.20
Customer arrival rate (per Sec)	0.08
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-03-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Formula
2	Customer arrival rate (λ) per Sec =	0.0800
3	Service rate per server (μ) per Sec =	0.2000
4	Overall system effective arrival rate per Sec =	0.0800
5	Overall system effective service rate per Sec =	0.0800
6	Overall system utilization =	40.0000 %
7	Average number of customers in the system (L) =	0.6667
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.2667
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	0.6667
10	Average time customer spends in the system (W) =	8.3333 Secs
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	3.3333 Secs
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	8.3333 Secs
13	The probability that all servers are idle (Po) =	60.0000 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	40.0000 %
15	Average number of customers being balked per Sec =	0
16	Total cost of busy server per Sec =	\$0
17	Total cost of idle server per Sec =	\$0
18	Total cost of customer waiting per Sec =	\$0
19	Total cost of customer being served per Sec =	\$0
20	Total cost of customer being balked per Sec =	\$0
21	Total queue space cost per Sec =	\$0
22	Total system cost per Sec =	\$0

Acceso Norte T:

Data Description	ENTRY
Number of servers	1
Service rate (per server per Sec)	0.20
Customer arrival rate (per Sec)	0.06
Queue capacity (maximum waiting space)	M
Customer population	M
Busy server cost per Sec	
Idle server cost per Sec	
Customer waiting cost per Sec	
Customer being served cost per Sec	
Cost of customer being balked	
Unit queue capacity cost	

11-19-2015	Performance Measure	Result
1	System: M/M/1	From Simulation
2	Customer arrival rate (λ) per Sec =	0.0600
3	Service rate per server (μ) per Sec =	0.2000
4	Overall system effective arrival rate per Sec =	0.0548
5	Overall system effective service rate per Sec =	0.0546
6	Overall system utilization =	28.4179 %
7	Average number of customers in the system (L) =	0.5028
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0.2186
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	0.7691
10	Average time customer spends in the system (W) =	9.2146 Secs
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	4.0061 Secs
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	14.0972 Secs
13	The probability that all servers are idle (Po) =	71.5821 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	28.4179 %
15	Average number of customers being balked per Sec =	0
16	Total cost of busy server per Sec =	\$0
17	Total cost of idle server per Sec =	\$0
18	Total cost of customer waiting per Sec =	\$0
19	Total cost of customer being served per Sec =	\$0
20	Total cost of customer being balked per Sec =	\$0
21	Total queue space cost per Sec =	\$0
22	Total system cost per Sec =	\$0
23	Simulation time in Sec =	3600.0000
24	Starting data collection time in Sec =	0
25	Number of observations collected =	197
26	Maximum number of customers in the queue =	9
27	Total simulation CPU time in second =	0.1320

NOMBRE DE LA PISTA: SABANAGRANDE																			
INTERSECCIÓN: MERCADO IVÁN MONTENEGRO																			
TIEMPO		NORTE																	
INICIO - FIN	NORTE ESTE					TOTAL N - E	NORTE SUR					TOTAL N - S	NORTE OESTE					TOTAL N - O	TOTAL NORTE
	BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		
7:00 am - 8:00 am	0	13	84	17	4	118	0	34	134	1	5	174	2	89	263	25	9	388	680
7:15 am - 8:15 am	0	10	92	16	3	121	0	32	140	2	5	179	2	81	274	25	8	390	690
7:30 am - 8:30 am	0	9	89	13	2	113	0	27	133	2	6	168	3	70	286	26	8	393	674
7:45 am - 8:45 am	0	10	77	18	0	105	0	19	127	2	6	154	3	61	294	24	5	387	646
8:00 am - 9:00 am	0	9	73	17	1	100	0	13	121	2	4	140	1	47	293	21	3	365	605
8:15 am - 9:15 am	0	9	64	18	2	93	0	12	122	1	4	139	1	44	294	21	4	364	596
8:30 am - 9:30 am	0	9	58	19	4	90	0	11	125	0	3	139	1	45	289	20	6	361	590
8:45 am - 9:45 am	0	8	63	16	4	91	0	13	118	0	2	133	1	42	278	19	6	346	570
9:00 am - 10:00 am	0	9	62	16	5	92	0	12	105	0	0	117	1	42	273	18	7	341	550
9:15 am - 10:15 am	0	9	64	15	5	93	0	15	93	0	0	108	1	45	261	17	8	332	533
9:30 am - 10:30 am	0	8	69	16	3	96	0	15	86	0	0	101	0	46	246	16	6	314	511
9:45 am - 10:45 am	0	8	65	17	4	94	0	15	87	1	0	103	1	47	239	18	4	309	506
10:00 am - 11:00 am	0	7	67	17	2	93	0	13	89	1	1	104	2	43	227	21	5	298	495
10:15 am - 11:00 am	0	7	64	18	3	92	0	10	93	1	1	105	2	40	224	19	3	288	485
10:30 am - 11:30 am	0	6	62	16	4	88	0	11	99	1	3	114	2	35	223	22	2	284	486

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

10:45 am - 11:45 am	0	6	61	16	5	88	0	14	99	0	3	116	1	34	221	21	3	280	484
11:00 am - 12:00 pm	0	6	60	15	5	86	0	17	97	0	3	117	1	36	232	22	1	292	495
11:15 am - 12:15 pm	0	6	59	16	3	84	0	19	94	0	4	117	1	38	243	25	1	308	509
11:30 am - 12:30 pm	0	7	60	17	4	88	0	22	91	0	3	116	1	38	250	22	1	312	516
11:45 am - 12:45 pm	0	7	64	17	2	90	0	22	96	0	3	121	3	38	251	24	1	317	528
12:00 pm - 1:00 pm	0	8	62	16	4	90	0	23	102	1	3	129	2	38	241	21	1	303	522
12:15 pm - 1:15 pm	0	8	62	15	4	89	0	27	109	1	3	140	2	32	208	20	1	263	492
12:30 pm - 1:30 pm	0	6	60	16	2	84	0	28	111	1	3	143	2	32	180	20	3	237	464
12:45 pm - 1:45 pm	0	6	60	17	2	85	0	29	113	1	4	147	0	28	160	19	2	209	441
1: 00 pm - 2:00 pm	0	5	61	18	0	84	0	31	117	0	4	152	0	25	142	20	3	190	426
1:15 pm - 2:15 pm	0	3	59	20	0	82	0	30	118	0	5	153	0	27	143	20	4	194	429
1:30 pm - 2:30 pm	0	3	60	21	0	84	0	29	115	0	6	150	0	25	145	20	2	192	426
1:45 pm - 2:45 pm	0	2	59	19	1	81	0	29	110	0	8	147	0	25	144	20	3	192	420
2: 00 pm - 3:00 pm	0	2	63	21	1	87	0	29	109	0	9	147	0	20	142	17	3	182	416
2:15 pm - 3:15 pm	0	2	73	19	1	95	0	28	103	0	8	139	0	14	148	16	3	181	415
2:30 pm - 3:30 pm	0	4	74	17	1	96	0	28	107	0	7	142	0	11	150	14	3	178	416
2:45 pm - 3:45 pm	0	6	82	19	0	107	0	27	124	0	6	157	0	7	146	12	2	167	431
3:00 pm - 4:00pm	0	8	79	18	0	105	0	27	130	0	4	161	0	15	153	17	2	187	453
3:15 pm - 4:15pm	0	10	70	17	0	97	1	28	144	0	3	176	0	21	144	17	1	183	456
3:30 pm - 4:30pm	0	11	67	18	0	96	1	28	151	0	3	183	0	24	144	20	3	191	470
3:45 pm - 4:45pm	0	13	63	19	0	95	1	31	135	0	1	168	0	27	154	20	4	205	468

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

4:00 pm - 5:00pm	0	14	78	20	0	112	1	31	146	0	1	179	0	25	158	18	4	205	496
4:15 pm - 5:15pm	0	18	91	25	0	134	0	31	153	0	2	186	0	26	179	19	5	229	549
4:30 pm - 5:30pm	0	19	100	24	0	143	0	38	153	0	1	192	0	31	205	17	5	258	593
4:45 pm - 5:45pm	0	20	113	25	0	158	0	49	169	0	1	219	0	41	237	17	4	299	676
5:00 pm - 6:00pm	0	24	123	29	1	177	0	67	173	0	2	242	0	46	277	17	4	344	763
5:15 pm - 6:15pm	0	28	131	29	1	189	0	78	176	0	1	255	0	47	313	19	6	385	829
5:30 pm - 6:30pm	0	30	135	30	1	196	0	83	186	0	2	271	0	49	335	22	5	411	878
5:45 pm - 6:45pm	0	27	127	29	1	184	0	77	184	0	2	263	0	45	339	25	5	414	861
6:00 pm - 7:00pm	0	22	107	24	0	153	0	66	169	0	2	237	0	42	321	25	4	392	782
TOTAL 12 HORAS	0	127	919	228	23	1,297	1	363	1,492	5	38	1,899	9	468	2,722	242	46	3,487	6,683

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

OESTE																		
OESTE NORTE					TOTAL O - N	OESTE ESTE					TOTAL O - E	OESTE SUR					TOTAL O - S	TOTAL OESTE
BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		
0	59	187	27	3	276	0	91	267	51	10	419	0	16	37	0	7	60	755
1	48	184	28	4	265	0	109	266	57	12	444	0	21	42	0	9	72	781
1	44	192	30	2	269	0	107	265	57	10	439	0	20	42	0	9	71	779
1	31	183	31	4	250	0	104	267	53	10	434	0	21	39	0	9	69	753
1	28	160	28	3	220	0	100	279	52	14	445	0	21	49	0	9	79	744
1	34	159	30	2	226	0	82	281	50	13	426	0	16	48	0	7	71	723
1	29	138	31	3	202	0	78	284	49	17	428	0	16	49	0	8	73	703
1	28	138	29	1	197	0	72	283	51	19	425	0	14	50	0	8	72	694
1	31	138	30	1	201	0	68	286	51	17	422	0	12	46	0	5	63	686
0	33	141	25	3	202	0	69	286	55	19	429	0	12	46	0	5	63	694
1	36	154	23	5	219	0	68	293	55	16	432	0	11	44	0	2	57	708
1	39	165	22	7	234	0	63	303	57	15	438	0	11	47	0	2	60	732
1	42	179	19	8	249	0	65	312	58	18	453	0	11	45	0	2	58	760
1	40	183	18	6	248	0	61	321	60	18	460	0	8	42	0	3	53	761
0	40	180	14	3	237	0	67	327	63	22	479	0	8	42	0	6	56	772
0	42	184	13	2	241	0	70	344	62	27	503	0	7	42	0	6	55	799
0	39	184	14	1	238	0	66	365	62	27	520	0	5	46	0	8	59	817
1	40	183	17	1	242	0	67	385	59	26	537	0	8	50	0	8	66	845
1	38	181	22	1	243	0	64	404	59	22	549	0	9	51	0	5	65	857
1	36	159	24	1	221	0	64	406	58	17	545	0	9	51	0	6	66	832
1	34	148	24	1	208	0	64	402	58	14	538	0	12	46	0	5	63	809
0	33	147	23	1	204	0	54	390	58	16	518	0	9	50	1	4	64	786
0	31	145	19	3	198	0	44	373	58	17	492	0	8	58	1	6	73	763
0	29	152	18	2	201	0	34	360	57	18	469	0	7	68	1	5	81	751
0	27	151	17	3	198	0	28	344	58	19	449	0	6	79	2	4	91	738
0	26	144	17	4	191	0	27	346	58	16	447	0	9	78	1	4	92	730
0	25	144	19	2	190	0	29	343	58	19	449	0	9	84	2	2	97	736

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

0	25	147	18	3	193	0	29	351	60	19	459	0	10	90	2	1	103	755
0	26	148	17	2	193	0	29	358	59	21	467	0	9	95	1	2	107	767
0	25	147	17	1	190	0	36	400	57	21	514	0	10	103	1	2	116	820
0	26	148	15	3	192	0	34	420	54	15	523	0	14	98	0	4	116	831
0	26	141	15	3	185	0	34	444	52	10	540	0	17	81	0	6	104	829
0	26	142	18	3	189	0	34	457	45	6	542	0	17	82	0	6	105	836
0	27	150	20	7	204	0	58	444	47	8	557	0	23	90	3	5	121	882
0	30	165	23	5	223	0	74	434	44	7	559	0	29	100	4	5	138	920
0	34	192	26	5	257	0	91	422	44	14	571	0	42	127	5	5	179	1,007
0	44	205	27	6	282	0	105	427	48	18	598	0	57	144	5	5	211	1,091
0	49	221	25	2	297	0	91	418	48	18	575	0	61	154	3	5	223	1,095
0	52	235	23	3	313	0	103	427	48	24	602	0	62	161	2	4	229	1,144
0	56	245	21	4	326	0	113	440	48	22	623	0	55	165	1	4	225	1,174
0	54	272	18	7	351	0	123	439	52	23	637	0	52	149	1	4	206	1,194
0	54	299	20	8	381	0	128	434	50	22	634	0	48	147	1	4	200	1,215
0	53	318	20	7	398	0	115	427	54	18	614	0	42	143	1	3	189	1,201
0	48	328	17	7	400	0	100	403	51	16	570	0	40	130	1	2	173	1,143
0	43	325	18	3	389	0	84	381	44	10	519	0	34	128	2	1	165	1,073
4	453	2,239	257	41	2,994	0	857	4,317	638	197	6,009	0	252	946	11	58	1,267	10,270

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

ESTE																			
ESTE SUR					TOTAL E - S	ESTE OESTE					TOTAL E - O	ESTE NORTE					TOTAL E - N	TOTAL ESTE	GRAN TOTAL
BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C			
0	9	19	11	3	42	0	217	509	75	8	809	0	14	128	17	3	162	1013	3011
0	8	24	13	3	48	0	215	525	70	11	821	0	14	127	18	3	162	1,031	3,076
0	6	27	13	4	50	0	181	522	66	16	785	0	15	117	17	3	152	987	2,973
0	4	28	14	3	49	0	158	518	60	15	751	0	12	107	14	2	135	935	2,803
0	3	27	14	1	45	0	145	488	58	15	706	0	11	97	14	1	123	874	2,641
0	3	26	14	2	45	0	123	472	61	13	669	0	10	89	11	1	111	825	2,509
0	4	27	14	2	47	0	131	462	64	6	663	0	12	81	9	0	102	812	2,441
0	4	27	15	2	48	0	128	460	62	9	659	0	11	81	8	0	100	807	2,394
0	5	31	15	2	53	0	105	475	60	12	652	0	10	88	8	1	107	812	2,351
0	4	35	14	3	56	0	96	491	53	14	654	0	7	93	8	1	109	819	2,332
0	4	38	13	3	58	0	82	505	47	18	652	0	4	98	9	1	112	822	2,326
0	4	44	12	3	63	0	76	490	45	16	627	0	6	103	10	1	120	810	2,338
0	3	46	10	4	63	0	75	458	40	13	586	0	4	108	8	2	122	771	2,318
0	5	51	10	2	68	0	69	424	36	12	541	0	6	122	9	3	140	749	2,294
0	4	55	10	3	72	0	71	392	34	10	507	0	7	115	7	3	132	711	2,272
0	6	58	10	3	77	0	66	393	39	9	507	0	8	89	6	5	108	692	2,279
0	6	61	10	3	80	0	62	410	51	9	532	0	10	89	8	4	111	723	2,333
0	5	61	10	3	79	0	58	414	55	11	538	0	14	89	8	3	114	731	2,371
0	5	59	9	1	74	0	55	427	59	11	552	0	15	98	8	4	125	751	2,391
0	5	56	9	3	73	0	56	413	56	11	536	0	13	118	9	2	142	751	2,354
0	6	52	9	2	69	0	68	404	49	11	532	0	14	114	10	1	139	740	2,293
0	6	47	8	2	63	0	70	398	54	9	531	0	11	106	12	2	131	725	2,216
0	5	43	10	2	60	0	71	375	55	11	512	0	11	113	17	1	142	714	2,148
0	4	38	8	0	50	0	68	344	59	11	482	0	10	124	19	2	155	687	2,092
0	3	38	8	0	49	0	57	308	61	12	438	0	8	126	20	2	156	643	2,052

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

0	3	37	9	0	49	0	54	296	59	12	421	0	6	132	20	2	160	630	2,016
0	3	34	11	0	48	0	45	279	59	12	395	0	5	137	17	2	161	604	1,984
0	4	36	13	0	53	0	45	280	55	15	395	0	8	142	16	2	168	616	2,003
0	3	39	13	0	55	0	47	291	52	16	406	0	11	148	14	4	177	638	2,014
0	3	42	12	0	57	0	49	293	50	18	410	0	13	142	14	4	173	640	2,098
0	5	46	10	0	61	0	53	308	50	20	431	0	12	137	15	4	168	660	2,157
0	6	47	10	0	63	0	50	331	50	17	448	0	11	142	15	5	173	684	2,198
0	6	42	9	0	57	0	43	332	48	17	440	0	10	136	17	3	166	663	2,212
0	6	32	8	0	46	0	43	329	47	15	434	0	13	147	18	2	180	660	2,239
0	5	28	7	0	40	0	47	338	45	12	442	0	16	144	20	4	184	666	2,278
0	5	28	7	0	40	0	54	344	47	11	456	0	18	131	20	3	172	668	2,382
0	9	28	9	0	46	0	66	364	53	9	492	0	19	132	18	5	174	712	2,536
0	16	39	11	0	66	0	72	376	53	8	509	0	19	121	17	5	162	737	2,643
0	19	46	12	0	77	0	74	375	54	5	508	0	18	118	13	3	152	737	2,742
0	22	53	13	1	89	0	71	352	53	6	482	1	16	112	12	2	143	714	2,820
0	23	59	16	1	99	0	63	327	52	5	447	1	16	105	12	1	135	681	2,919
0	18	58	18	1	95	0	59	317	55	5	436	1	15	103	11	1	131	662	2,990
0	17	55	19	1	92	0	59	307	54	5	425	1	16	100	13	2	132	649	3,015
0	13	45	18	0	76	0	59	308	52	5	424	0	16	101	13	2	132	632	2,913
0	9	38	15	0	62	0	59	298	47	5	409	0	15	99	14	1	129	600	2,704
0	85	480	139	16	720	0	###	4,664	646	132	6,449	1	142	1,370	##	28	1,701	8,870	29,384

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

SUR																		
SUR OESTE					TOTAL S - O	SUR NORTE					TOTAL S- N	SUR ESTE					TOTAL S - E	TOTAL SUR
BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		BI	M	A	B	C		
0	80	117	0	9	206	2	100	225	0	1	328	0	2	23	4	0	29	563
0	97	145	0	8	250	2	86	207	0	1	296	0	2	22	4	0	28	574
0	92	153	0	8	253	2	72	179	0	0	253	0	5	18	4	0	27	533
0	80	147	0	6	233	2	50	155	0	2	209	0	5	15	7	0	27	469
0	58	147	0	7	212	1	43	136	0	2	182	0	6	12	6	0	24	418
0	36	128	0	7	171	1	42	121	0	4	168	0	7	12	7	0	26	365
0	33	119	0	5	157	0	41	111	0	4	156	0	4	12	7	0	23	336
0	30	120	0	4	154	0	37	102	0	3	142	0	4	17	6	0	27	323
0	34	107	1	3	145	0	33	94	0	4	131	0	3	18	6	0	27	303
0	32	99	1	3	135	0	33	91	0	3	127	0	1	18	5	0	24	286
0	31	96	1	3	131	0	34	92	0	4	130	0	1	18	5	0	24	285
0	27	103	1	4	135	0	35	98	0	3	136	0	1	14	4	0	19	290
0	21	105	0	5	131	0	35	107	0	3	145	0	1	12	3	0	16	292
0	18	109	0	6	133	0	36	117	0	2	155	0	1	7	3	0	11	299
0	14	112	0	5	131	0	36	120	0	2	158	0	3	7	4	0	14	303
0	14	106	0	6	126	0	38	123	0	3	164	0	2	8	4	0	14	304
0	12	109	0	6	127	0	37	120	0	2	159	0	2	6	4	0	12	298
0	13	104	0	5	122	0	32	116	0	3	151	0	2	7	4	0	13	286
0	15	91	0	5	111	0	29	118	0	2	149	0	0	4	3	0	7	267
0	16	83	0	5	104	0	21	112	0	2	135	0	0	2	2	0	4	243
0	14	74	0	4	92	0	16	106	0	2	124	0	0	3	3	0	6	222
0	12	75	1	3	91	0	13	100	0	3	116	0	0	3	3	0	6	213
0	10	78	1	2	91	0	11	95	0	3	109	0	0	4	3	0	7	207
0	7	83	1	1	92	0	13	97	0	3	113	0	0	5	3	0	8	213
0	13	98	2	1	114	0	17	101	0	5	123	0	1	4	3	0	8	245
0	13	93	1	1	108	0	16	92	0	3	111	0	1	4	3	0	8	227
0	10	93	1	1	105	0	17	83	0	5	105	0	1	4	3	0	8	218

Optimización en las medidas de rendimiento de las fases del semáforo en horas de máxima demanda, ubicado en el mercado Iván Montenegro en el mes Julio del año 2014.

0	12	92	1	3	108	0	16	72	0	5	93	0	2	5	4	0	11	212
0	9	79	0	3	91	0	17	68	0	5	90	0	1	7	4	0	12	193
0	13	84	0	3	100	0	22	80	0	8	110	0	1	8	4	0	13	223
0	15	89	0	4	108	0	25	90	0	11	126	0	1	9	5	1	16	250
0	21	91	0	3	115	0	24	93	0	10	127	0	0	6	5	1	12	254
0	21	104	0	3	128	0	21	91	0	8	120	0	0	6	5	1	12	260
0	18	104	0	4	126	0	17	81	0	5	103	0	1	5	5	1	12	241
0	21	100	0	5	126	0	14	73	0	0	87	0	1	4	4	0	9	222
0	25	114	0	6	145	0	14	70	0	0	84	0	1	6	3	0	10	239
0	31	106	0	6	143	0	16	69	0	0	85	0	1	5	3	0	9	237
0	35	115	0	5	155	0	21	75	0	1	97	0	1	6	3	0	10	262
0	40	123	0	5	168	0	19	69	0	2	90	0	1	6	3	0	10	268
0	32	108	0	2	142	0	20	78	0	4	102	0	1	7	4	0	12	256
0	29	116	0	4	149	0	26	90	0	4	120	0	1	7	4	0	12	281
0	29	110	0	4	143	0	26	100	0	4	130	0	1	7	3	0	11	284
0	21	103	0	2	126	0	31	115	0	3	149	0	1	8	3	0	12	287
0	19	97	0	3	119	0	32	113	0	2	147	0	2	7	2	0	11	277
0	16	84	0	1	101	0	28	106	0	3	137	0	2	7	2	0	11	249
0	338	1,246	3	52	1,639	3	389	1,313	0	39	1,744	0	20	110	47	1	178	3,561