

Estudio de ingeniería de tránsito para mejora del eje vial Gral. Lázaro Cárdenas de Ciudad Victoria Tamaulipas

NAYELLI SELENA SÁNCHEZ MARTÍNEZ

Resumen— El presente proyecto plantea las propuestas de mejora de ingeniería de tránsito del Eje Vial Gral. Lázaro Cárdenas, ubicado en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, ya que existe el problema de tráfico vial durante los horarios de mayor demanda vehicular. Esta situación origina congestión provocando pérdidas de tiempo, gasto extra de combustible y contaminación al ambiente. Por esta razón, los objetivos que se plantearon fueron analizar los niveles de servicio actuales bajo los que operan las 12 intersecciones seleccionadas, así mismo se desarrollaron propuestas de mejora para cada una de estas, mediante la metodología que permitió obtener resultados por medio de un estudio cuantitativo, utilizándose un instrumento de observación cuantitativa, con estos resultados se pudieron determinar las horas de mayor demanda para el análisis de los niveles de servicio mediante el software *Synchro*, así como la modelación de las propuestas de solución. Se utilizaron las herramientas brindadas por la ingeniería de tránsito, que es una rama de la Ingeniería Civil, gracias a este proyecto se obtuvieron propuestas de mejora de los niveles de servicio, las cuales servirán a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente municipal y estatal, y a la Secretaría de Obras Públicas de Ciudad Victoria ya que, al aplicarlas, se podrían reducir los tiempos de espera, gasto de combustible y la contaminación para beneficio de la población.

I. INTRODUCCIÓN

Al hablar de la infraestructura del transporte, el análisis del problema se realiza a partir del estudio del fenómeno del tránsito y de un diagnóstico de los elementos que intervienen en el desarrollo de la actividad del transporte, como son, la vía y los dispositivos para el control del tránsito [1]. El Eje Vial Gral. Lázaro Cárdenas en Ciudad de Victoria Tamaulipas, México, es uno de los ejes de movilidad troncal más importantes de la ciudad, que cuenta con intersecciones semaforizadas en: Av. Las Américas, Blvd. Emilio Portes Gil, Calle Alejandro Prieto, Calle Felipe Berriozábal, Calle

Alberto Carrera Torres, Tienda Gran-D Estación, Calz. Gral. Luis Caballero y Blvd. Guadalupe Victoria, las restantes intersecciones no cuentan con este servicio. En la intersección con Av. Las Américas, Calz. Luis Caballero, entre otras semaforizadas y no, elegidas como muestra del proyecto se determinó mediante la modelación de la demanda actual en el programa *Synchro* en el cual se pudo evidenciar que existe una problemática de tráfico durante las horas pico seleccionadas (6:45 a 9:30 h, de 13:00 a 15:30 y de 14:30 a 19:00 h), esto debido a un déficit de la capacidad de las vialidades, aunado a una inadecuada programación de los semáforos que dan servicio a la demanda actual y a la inexistencia de un sistema de señalización adecuado para las intersecciones con dicha problemática.

Con la aplicación de un estudio de tránsito se pudo estudiar la situación actual de las intersecciones que presentan la problemática vial y se generaron opciones de solución. Es importante señalar que este proyecto puede ser útil a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente municipal y estatal, y a la Secretaría de Obras Públicas de Ciudad Victoria. Es decir que con el desarrollo del proyecto se podrían corregir los tiempos de espera que conllevan al ahorro de combustible, ahorro económico y disminución de gases contaminantes, entre otros, con lo cual se beneficia a la sociedad que utiliza la vialidad y al medio ambiente en general.

Por esta razón, los objetivos específicos partieron primordialmente del general, que fue generar propuestas de mejora de la infraestructura vial de tránsito (dispositivos de control de tráfico y adecuaciones geométricas) del Eje Vial Gral. Lázaro Cárdenas, de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México y posteriormente y con la finalidad de lograr el propósito de dicho estudio en forma específica surgió el propósito de analizar y dictaminar la problemática vial de las 12 intersecciones de esta vialidad, modelar, diseñar y evaluar los resultados de las alternativas de las posibles soluciones viales, y posteriormente realizar un balance del estado actual con respecto a las soluciones elegidas a lo largo de esta vialidad (véase figura 1).

Nayelli Selena Sánchez Martínez pertenece a la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad La Salle Victoria y realizaron el proyecto dentro del curso(s) Seminario de Investigación (Email: 20140181@ulsavictoria.edu.mx).

El proyecto fue asesorado por la Mtra. Karen Lizeth Zapata Torres y el Ing. Magid Vélez Assad

Los autores agradecen a: padres, familia, amigos, maestros y universidad.

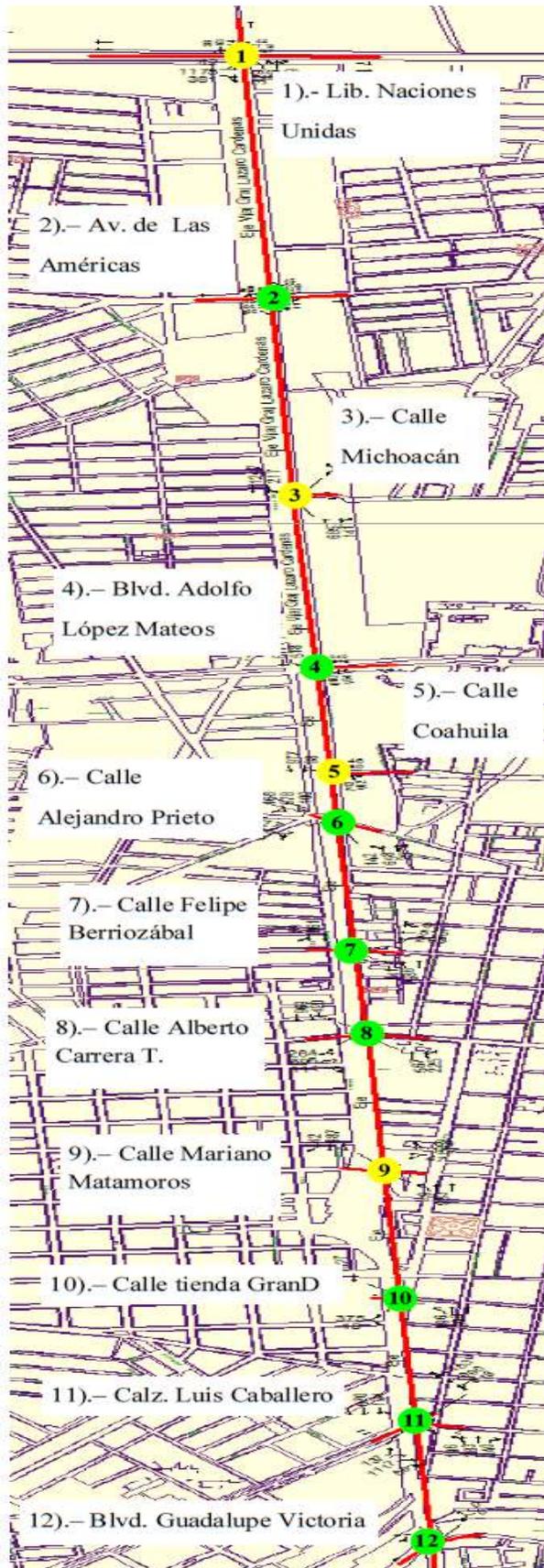


Figura 1. Croquis de 12 intersecciones del Eje vial Gral. Lázaro Cárdenas.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Es importante señalar que en este proyecto se establece generar propuestas de mejora de la infraestructura vial en las 12 intersecciones antes mencionadas. El cual comprende el análisis por medio del software *Synchro*, con el cual se propusieron cambios en los tiempos y movimientos en las fases de la programación de los semáforos ya instalados y el establecimiento de un semáforo en las intersecciones que lo necesiten, así como la redistribución de carriles, haciendo uso del espacio de tránsito actual y del central (del Lib. Naciones Unidas a la Calle Alejandro Prieto) que se podría adecuar para los nuevos carriles que sean necesarios. Para hacer estos puntos más eficientes y posibles geoméricamente, se utilizó el área del camellón central del Eje Vial del tramo Lib. Naciones Unidas al punto con la Calle Alejandro Prieto con lo que se realizó la propuesta de la infraestructura de lo cual se podría generar la realización de planos de propuesta de pavimentación, señalización y distribución del espacio vial. El estudio de mejora se realizó entre el mes de agosto del 2018 y el mes de mayo del 2019.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1. Ingeniería de Tránsito

La ingeniería de tránsito se deriva de la ingeniería de transporte y ésta se enfoca principalmente, en el estudio de los elementos del tránsito: conductor, peatón, vehículo, vía, señalización y dispositivos de control del tráfico, y la caracterización y estudio del comportamiento de las llamadas variables macroscópicas del tránsito: volumen vehicular, velocidad y densidad, así como la relación existente entre elementos y variables. El estudio de estos componentes permite brindar las soluciones empleadas hoy en día para el tratamiento de problemas de tráfico como la congestión, las demoras, los tiempos de viaje, el nivel de servicio y la accidentalidad [2].

2.2. Los dispositivos de control: señalamientos, semáforos.

Los dispositivos de control son los medios con los cuales se comunican los conductores, para así ser guiados en la circulación, bajo las leyes del tránsito, la regulación y las instrucciones operacionales.

Los semáforos son dispositivos electrónicos que tienen como función ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en calles y carreteras por medio de luces generalmente de color rojo, amarillo y verde, operados por una unidad de control [3].

2.3 Metodología de estudio de tránsito de acuerdo con el Highway Capacity Manual.

La metodología general que es recomendada por la literatura en estudios de tráfico (*traffic studies*) o ingeniería de tráfico, y que es aprobada, es la que se utiliza de manera internacional de acuerdo con la Highway Capacity Manual [HCM] de la Institute of Transportation Engineers [I.T.E.] [4]. Por esta razón, se menciona a continuación, la metodología antes señalada:

1. Estudio sobre la localización de las intersecciones más importantes para la obtención de los resultados deseados para el estudio integral.
2. Investigación de estudios viales anteriores para identificar las intersecciones más conflictivas.

3. Selección de intersecciones vehiculares para realizar los estudios de ingeniería vial y tráfico.
4. Levantamiento de la información física de las intersecciones viales.
5. Selección del personal operativo que hará los conteos de aforos vehiculares.
6. Dibujo y conteo de los movimientos direccionales de cada intersección para su correcta medición.
7. Capacitación del personal operativo que hará los conteos de aforo vehicular.
8. Medición del aforo vehicular direccional por clasificación A, C (autos, y camiones de carga) existente en las intersecciones en análisis.
9. La información del aforo es contabilizada en un periodo de las 7 h a las 19 h en rangos de 15 minutos con corte del conteo y registro en el formato de aforo.
10. Se realizan los conteos para un día hábil para identificar las horas de máxima demanda y las 3 horas pico de un día hábil, así como posibles picos en las horas valle.
11. Se captura la información de campo de aforos en los formatos establecidos para obtener los resultados de las 3 horas pico del día, la hora de máxima demanda y gráficas de comportamiento del aforo en el día hábil.
12. Construcción de los modelos de vialidad de la zona de influencia en el programa de análisis vial *Synchro* y simulación de tráfico *SimTraffic* de la situación actual. Todos los modelos son analizados para las 3 horas pico. En estos modelos se ingresa la información física y operativa de las intersecciones, incluyendo aforos vehiculares por tipo, anchos de carril, ciclos de tiempo de semáforos, estacionamientos en aceras, paradas de transporte, pendiente de calles, números de carriles, uso de carriles, velocidades límite, entre otras.
13. Determinación de los niveles de servicio, volumen sobre capacidad (v/c), demoras, colas con la situación actual sin proyecto en base a los resultados del programa *Synchro*.
14. Construcción del modelo de vialidad de la zona de influencia en el programa de análisis vial *Synchro* y simulación *SimTraffic* de la situación futura del nuevo Proyecto Vial con las adecuaciones viales de la modernización y ampliación del proyecto.
15. Determinación de los niveles de servicio, volumen sobre capacidad (v/c), demoras, colas, entre otras, con el nuevo desarrollo y con las adecuaciones viales del proyecto.
16. Determinación del impacto vial y recomendación de medidas para mitigar los impactos de la modernización y ampliación vial en estudio y de los desarrollos a futuro que influyan directamente en la vialidad.
17. Construcción del modelo de vialidad de la zona de influencia en el programa de análisis vial *Synchro* y simulación *Simtraffic* de la situación futura con pronóstico a 5, 10 y 15 años. En este modelo se consideran las cargas vehiculares por crecimiento natural del aforo vehicular.
18. Determinación de los niveles de servicio, volumen sobre capacidad [v/c], demoras, colas, entre otras, con el nuevo desarrollo y con las adecuaciones viales propuestas.

2.4. Niveles de servicio

El concepto de nivel de servicio se utiliza para la evaluación de la calidad del flujo. Es una medida cualitativa

que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular o personas y de su percepción por los conductores, pasajeros o peatones. Las condiciones que afectan en la evaluación de los niveles de servicio son la velocidad de recorrido, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobrar, las demoras a la circulación, la comodidad y la conveniencia. Cada tipo de infraestructura cuenta con 6 tipos de nivel de servicio para los cuales se disponen de procedimientos de análisis. A cada uno de ellos se les asigna una letra desde la A hasta la F, siendo el nivel de servicio A el que representa las mejores condiciones de funcionamiento y la de mejor percepción del conductor, y el F, indica las peores condiciones de operación [5].

2.5. Volumen- capacidad (v/c).

El volumen de tránsito se puede definir como el número de vehículos que pasan por un punto determinado en una vía durante un intervalo de tiempo específico. Es muy usual la unidad de vehículos por hora y vehículo por día [6].

Así mismo, el volumen de tránsito es el número de vehículos que circulan en ambas direcciones por una sección de vía durante un tiempo específico de tiempo. Esto puede ser horario, diario, semanal, entre otros. De igual forma menciona que el volumen de servicio es la cantidad de tránsito que le corresponde a cada nivel de servicio [7].

Teóricamente la capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una autopista o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos 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 [8].

2.6. Inventario vial

El ingeniero de tráfico tiene conocimiento de los sistemas de tráfico y su comportamiento proviene de la observación enfocada y el estudio de los sistemas en acción. La observación y medición de parámetros críticos que cuantifican diversos aspectos del comportamiento del tráfico es fundamental para la profesión. La ingeniería de tráfico es principalmente empírica, basada en el conocimiento obtenido de la observación directa. Por lo tanto, la comprensión de qué datos de tráfico se necesitan y cómo recopilarlos es un tema principal en el estudio de la ingeniería de tráfico [9].

2.7. Intersección

Una intersección se define como el área general donde se unen o se cruzan dos o más carreteras, incluidas las instalaciones del camino y de la carretera para los movimientos de tráfico dentro del área. Cada carretera que irradia desde una intersección y forma parte de ella es una rama de intersección [10].

2.8. Conteos o aforos vehiculares

El conteo de tránsito o aforo de tránsito: Es contar el número de vehículos que pasan por una vía, diferenciando su sentido de circulación, y qué clase de vehículo es en un período de tiempo determinado y menciona que existen los siguientes tipos de aforos de tráfico vehicular [11].

- Método manual
- Método manual eléctrico

- Lazos inductivos
- Tubos neumáticos
- Analizador compacto de tráfico
- Detector de radar
- Detector ultrasónico e infrarrojo
- Detector de triple tecnología

2.9. Análisis de la capacidad vial con el uso del software *Synchro* y *SimTraffic*

El programa *Synchro* implementa los métodos del *Highway Capacity Manual 2000, Chapter 16*. *Synchro* proporciona una solución fácil de usar basada en ventanas para el análisis de capacidad de intersección única y la optimización de la temporización.

Además de calcular la capacidad, *Synchro* también puede optimizar la duración de los ciclos y las divisiones, eliminando la necesidad de probar múltiples planes de tiempo en busca del óptimo.

Si la intersección está coordinada, *Synchro* calcula explícitamente el factor de progresión. Con el *Highway Capacity Software (HCS)*, es necesario adivinar los efectos de la coordinación. *Synchro* calcula los efectos de la coordinación de forma automática y precisa [12].

III. METODOLOGÍA

Para realizar el proyecto se utilizó el enfoque cuantitativo que consistió en aplicar aforos vehiculares para la captura del volumen vehicular de una intersección o vialidad en distintos periodos de tiempo durante el día para obtener datos numéricos que posteriormente fueron analizados a través del método estadístico de la herramienta de captura de los aforos vehiculares, para después alimentar con estas cifras los parámetros necesarios dentro de los softwares *Synchro* y *SimTraffic* utilizados para generar los resultados que probaran los niveles de servicio de las intersecciones antes mencionadas del Eje Vial Lázaro Cárdenas y en base a esto evaluar las nuevas alternativas que den solución al problema vial, de igual forma se realizaron formatos de inventarios viales, que alimentaron con características físicas de las intersecciones del Eje Vial, para complementar el estudio. Con un alcance descriptivo, se buscó especificar el estado y niveles de servicio bajo los que operan las intersecciones, se utilizó el diseño no experimental transversal descriptivo debido a que la recolección de datos y su análisis no se alteró o modificó el entorno y estado de las vialidades en estudio, es decir se tomó la información real en el periodo de enero de 2019 a febrero de 2019, es decir se observó la situación en su entorno natural los datos se recolectaron en un momento único del tiempo, la muestra quedó conformada por todas las intersecciones pertenecientes al eje vial y una muestra por conveniencia de las intersecciones mencionadas anteriormente, la técnica utilizada para el proyecto fue la observación cuantitativa, la cual se apoyó con el instrumento de aforo manual proporcionado por la empresa Consultoría de Ingeniería de Tráfico y Ambiental [CONSINTRA].

A continuación, se muestran, los resultados obtenidos al realizar la observación cuantitativa en las intersecciones seleccionadas que forman parte del Eje Vial Gral. Lázaro Cárdenas, esto debido a que reúnen las siguientes características:

- Estas intersecciones están formadas por diversas calles que intersectan al Eje Vial Gral. Lázaro Cárdenas, y
- Como antecedente se observa un problema de tráfico en ellas.

La aplicación del instrumento dio como resultado los aforos vehiculares de las 12 intersecciones, obteniendo como parte de la muestra, tres horarios del día de 6:45 a 9:30 h, de 13:00 a 15:30 y de 14:30 a 19:00 h con lo cual se obtiene la información necesaria, que sirvió de base para realizar el proyecto:

Intersección 1: la hora pico es la de 7:30- 8:30 con un volumen vehicular total por hora de 3,248, nivel de servicio F.
Intersección 2: la hora pico es de 7:15- 8:15 con un volumen vehicular de 2,996.

Intersección 3: hora pico de 7:30- 8:30, con un volumen vehicular total de 2,499.

Intersección 4: hora pico de 7:30-8:30 con un volumen vehicular de 2,879.

Intersección 5: hora pico de 7:15- 8:15 con un volumen vehicular de 2,048.

Intersección 6: hora pico de 6:45- 7:45, con un volumen vehicular total de 2,208.

Intersección 7: hora pico de 7:15- 8:15, con un volumen de 2,670.

Intersección 8: hora pico de 7:30 – 8:30, con un volumen vehicular total de 3,250.

Intersección 9: hora pico de 7:15- 8:15, con un volumen de 2.342.

Intersección 10: hora pico de 7:30 – 8:30, con un volumen vehicular total de 2,428.

Intersección 11: hora pico de 7:30-8:30, con un volumen de 4,663.

Intersección 12: hora pico de 6:45-7:45, con un volumen vehicular total de 2.425.

Es importante señalar que cada intersección además de los datos anteriores cuenta con volúmenes vehiculares por movimiento direccional (véase figura 2), con los cuales, se pudieron modelar los escenarios actuales en el software *Synchro* de donde se obtienen los niveles de servicio existentes y así mismo se modelan las alternativas de solución para los horarios con más problemática de tráfico.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Análisis de las Horas Pico														
N° INT ERS ECC IÓN	PERIODO HORA PICO	Derecha	Frente	Izquierda	Izquierda	Frente	Derecha	Izquierda	Frente	Derecha	Derecha	Frente	Izquierda	TOTAL POR HORA PICO
		5	1	3	7	9	11	8	10	12	4	2	6	
		DIRECCIONAL DEL NORTE				DIRECCIONAL DEL SUR				DIRECCIONAL DEL ORIENTE		DIRECCIONAL DEL PONIENTE		
EJE VIAL GRAL. LÁZARO CÁRDENAS														
1	07:30-08:30	219	66	329	14	63	38	42	1,175	381	42	713	167	3,248
2	07:15-08:15	61	465	271	35	639	97	148	193	625	45	208	212	2,999
3	07:30-08:30	141	685	0	217	1,257	0	0	0	0	92	0	107	2,499
4	07:30-08:30	164	660	0	518	877	0	0	0	0	342	0	318	2,879
5	07:15-08:15	102	743	0	98	977	0	0	0	0	46	0	80	2,046
6	06:45-07:45	25	658	142	100	678	168	217	55	164	0	0	0	2,208
7	07:15-08:15	0	586	141	0	961	76	0	0	0	93	515	298	2,670
8	07:30-08:30	225	567	0	420	969	0	264	695	111	0	0	0	3,250
9	07:15-08:15	38	933	59	0	987	42	0	0	0	69	167	47	2,342
10	07:30-08:30	0	593	196	0	1,207	38	375	0	18	0	0	0	2,428
11	07:30-08:30	240	283	196	194	570	47	137	1,117	89	183	990	616	4,663
12	06:45-07:45	167	144	53	380	82	110	245	592	17	305	277	54	2,425

Figura 2. Resumen de resultados intersecciones.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo se realizó mediante la recolección de datos por medio del instrumento de aforos manuales, con los cuales se alimentó el software *Synchro*, posteriormente con la información procesada se pudo determinar los niveles de servicio actuales de las intersecciones, después se modelaron propuestas de solución para mejorar dichos niveles hasta encontrar una adecuada, con lo cual se pudieron obtener mediante el programa *SimTraffic* los diseños de proyecto geométrico propuestos para cada una de las intersecciones. También se realiza una proyección de costo-beneficio de las modificaciones propuestas respecto a la situación actual, la cual arroja que el beneficio sería mayor al costo que tendría el realizar las adecuaciones y esta inversión se recuperaría en aproximadamente 11 meses.

A continuación, se ilustra la modelación del estado actual de las 12 intersecciones en el programa *Synchro*,

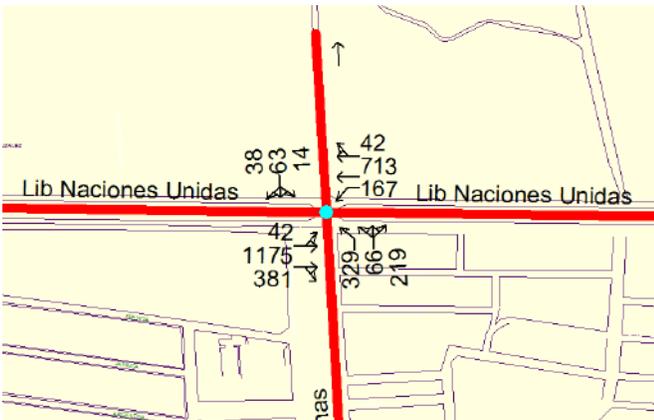


Figura 3. Intersección 1 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 4. Intersección 2 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

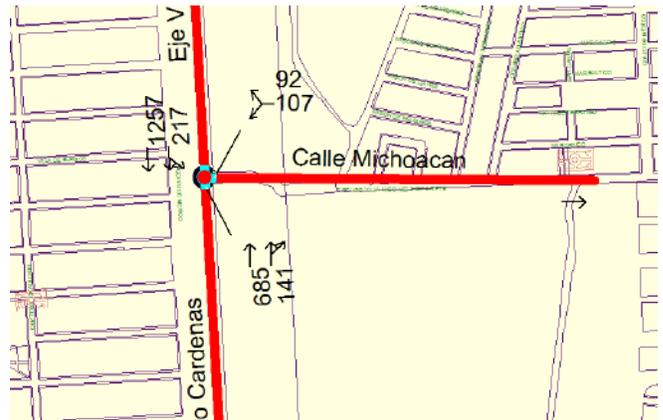


Figura 5. Intersección 3 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

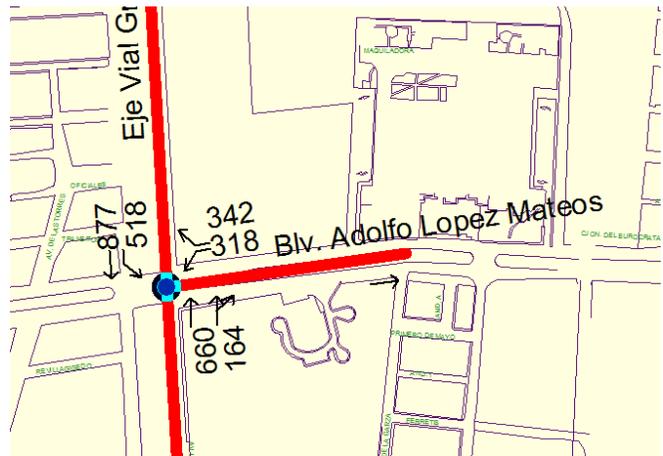


Figura 6. Intersección 4 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

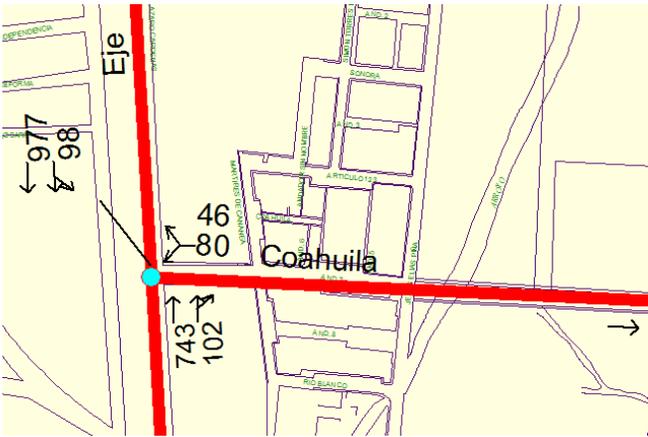


Figura 7. Intersección 5 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

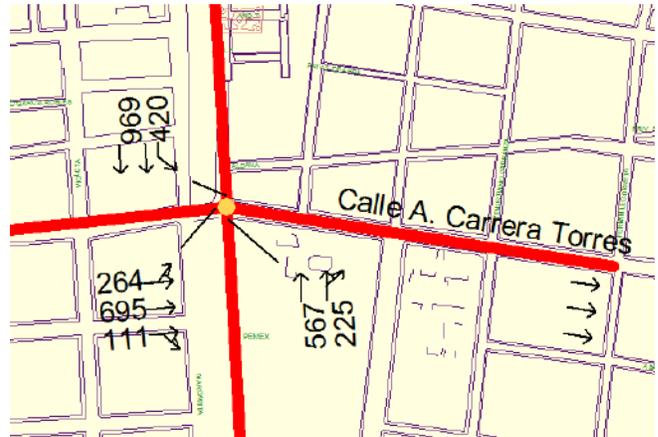


Figura 10. Intersección 8 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

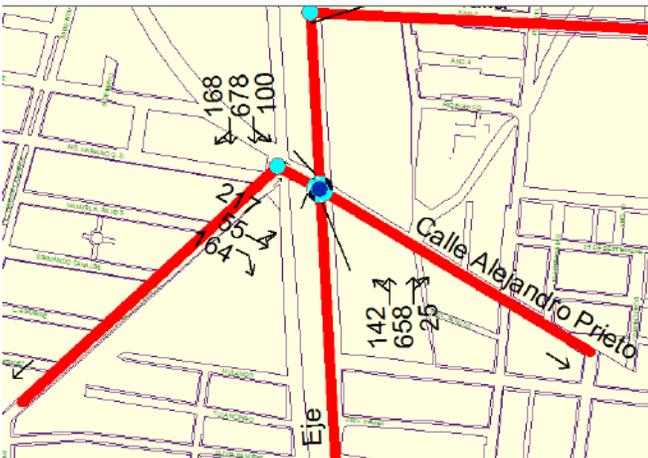


Figura 8. Intersección 6 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

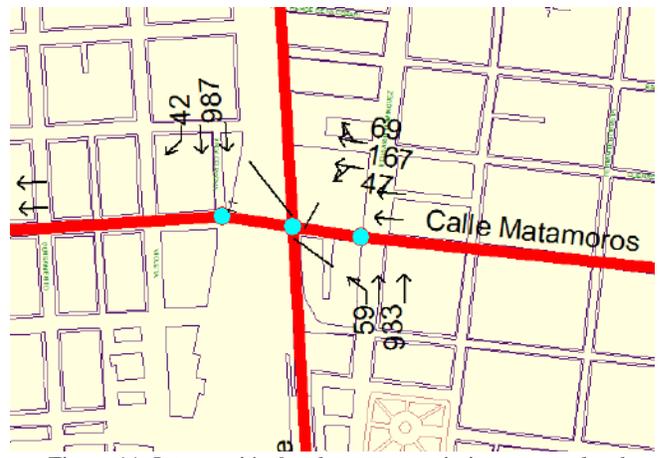


Figura 11. Intersección 9 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

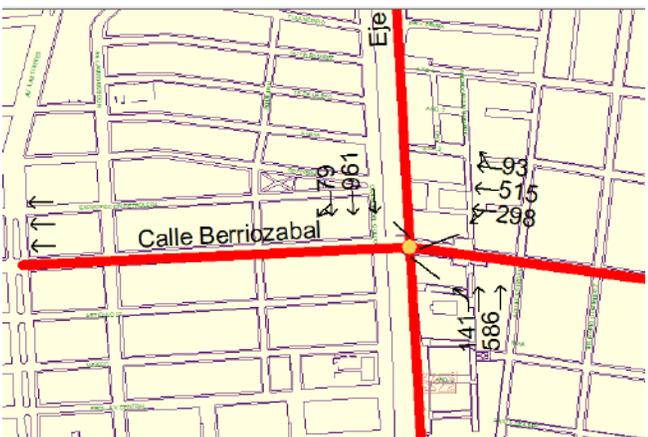


Figura 9. Intersección 7 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

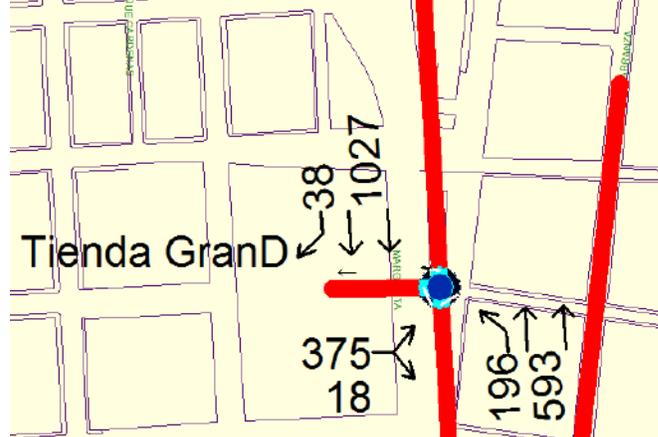


Figura 12. Intersección 10 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

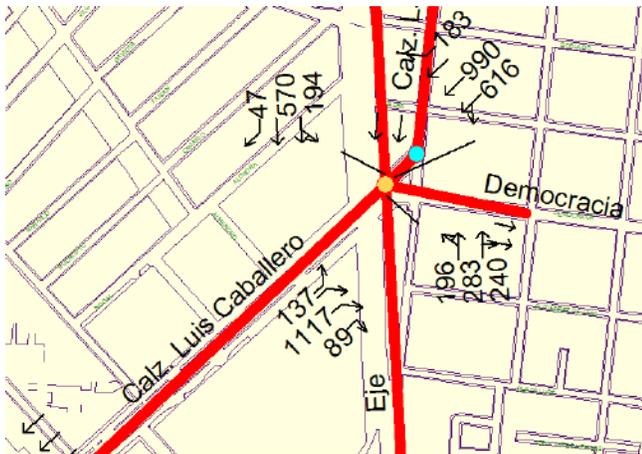


Figura 13. Intersección 11 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 14. Intersección 12 volumen y movimientos actuales de primera hora pico.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

De la modelación del estado actual se obtienen los siguientes resultados de nivel de servicio de cada intersección.

Options >		SIGNING WINDOW											
Controller Type:		EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Max v/c Ratio:	En	42	1175	381	167	713	42	329	66	219	14	63	38
Int. Delay:	En	4.1		4.1		7.5	6.5	6.9	7.5	6.5	6.9		
Int. LOS:	En	2.2		2.2		3.5	4.0	3.3	3.5	4.0	3.3		
ICU LOS:	G	0.05	0.62	0.62	0.34	0.30	0.18	Error	Error	Error	Error	Error	Error
ICU LOS:	G	0.8	0.7	0.0	15.0	0.0	0.0	Error	Error	Error	Error	Error	Error
Level of Service		A	A	A	C	A	A	F	F	F	F	F	F
Queue Length 95th (m)		1.4	1.4	0.0	11.8	0.0	0.0	Error	Error	Error	Error	Error	Error

Figura 15. Resumen de nivel de servicio intersección 1.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Options >		TIMING WINDOW											
Controller Type:		EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Traffic Volume (vph)		148	193	625	212	208	45	271	465	61	35	639	97
Protected Phases		4	4	4	0	0	0	2	2	0	6	6	0
Permitted Phases		4	4	4	0	0	0	2	2	0	6	6	0
Detector Phases		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Minimum Initial (s)		27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
Minimum Split (s)		27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	31.0	31.0	31.0	32.0	32.0	32.0
Total Split (s)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Yellow Time (s)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
All-Red Time (s)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lead/Lag													
Allow Lead/Lag Optimize?													
Recall Mode		Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Actuated Effect. Green (s)		25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	29.0	29.0	29.0	30.0	30.0	30.0
Actuated g/C Ratio		0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26
Volume to Capacity Ratio		0.47	0.50	1.01	0.79	0.79	0.79	1.07	1.07	1.07	0.90	0.90	0.90
Control Delay (s)		45.5	48.8	52.1	51.8	51.8	51.8	52.4	52.4	52.4	70.3	70.3	70.3
Queue Delay (s)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total Delay (s)		45.5	48.8	52.1	51.8	51.8	51.8	52.4	52.4	52.4	70.3	70.3	70.3
Level of Service		D	D	D	D	D	D	F	F	F	E	E	E
Approach Delay (s)		50.4	50.4	51.8	51.8	51.8	51.8	52.4	52.4	52.4	70.3	70.3	70.3
Approach LOS								F	F	F	E	E	E
Queue Length 50th (m)		34.2	45.3	58.1	58.8	58.8	58.8	121.9	121.9	121.9	104.8	104.8	104.8
Queue Length 95th (m)		56.4	72.0	151.2	100.3	100.3	100.3	116.3	116.3	116.3	114.9	114.9	114.9
Steps (vph)		126	172	195	422	422	422	692	692	692	603	603	603
Fuel Used (l/hr)		17	23	71	49	49	49	126	126	126	121	121	121

Figura 16. Resumen de nivel de servicio intersección 2.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Options >		SIGNING WINDOW					
Controller Type:		WBL	WBR	NBT	NBR	SBL	SBT
Traffic Volume (vph)		107	92	685	141	217	1257
Sign Control		Stop	Free	Free	Free	Free	Free
Median Type		None	None	None	None	None	None
Median Width (vehs)							
Right Turn Channelized		None	None	None	None	None	None
Critical Gap, IC (s)		6.8	6.9			4.1	
Follow Up Time, tF (s)		3.5	3.3			2.2	
Volume to Capacity Ratio		3.31	3.31	0.29	0.24	0.31	0.54
Control Delay (s)		Error	Error	0.0	0.0	5.1	2.5
Level of Service		F	F	A	A	A	A
Queue Length 95th (m)		Error	Error	0.0	0.0	10.7	10.7

Figura 17. Resumen de nivel de servicio intersección 3.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Options >		TIMING WINDOW										
Controller Type:		WBL	WBR	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR				
Traffic Volume (vph)		318	342	660	164	518	877					
Protected Phases		8	8	2	0	1	6					
Permitted Phases		8	8	2	0	1	6					
Detector Phases		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0					
Minimum Initial (s)		20.0	20.0	26.0	26.0	26.0	52.0					
Minimum Split (s)		20.0	20.0	26.0	26.0	26.0	52.0					
Total Split (s)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0					
Yellow Time (s)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
All-Red Time (s)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
Lead/Lag				Log	Lead							
Allow Lead/Lag Optimize?				Yes	Yes							
Recall Mode		Max	Max	Max	Max	Max	Max					
Actuated Effect. Green (s)		18.0	18.0	24.0	24.0	24.0	50.0					
Actuated g/C Ratio		0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.69					
Volume to Capacity Ratio		0.81	0.56	0.80	0.80	1.01	0.78					
Control Delay (s)		42.3	6.5	27.5	27.5	66.9	13.1					
Queue Delay (s)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
Total Delay (s)		42.3	6.5	27.5	27.5	66.9	13.1					
Level of Service		D	A	C	C	E	B					
Approach Delay (s)		23.7	23.7	27.5	27.5	33.1	33.1					
Approach LOS		C	C	C	C	E	C					
Queue Length 50th (m)		46.3	0.0	57.1	57.1	80.1	74.0					
Queue Length 95th (m)		88.2	19.6	80.5	80.5	114.9	127.4					

Figura 18. Resumen de nivel de servicio intersección 4.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

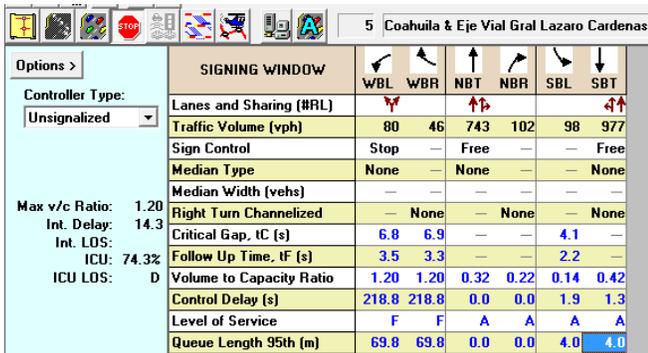


Figura 19. Resumen de nivel de servicio intersección 5.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

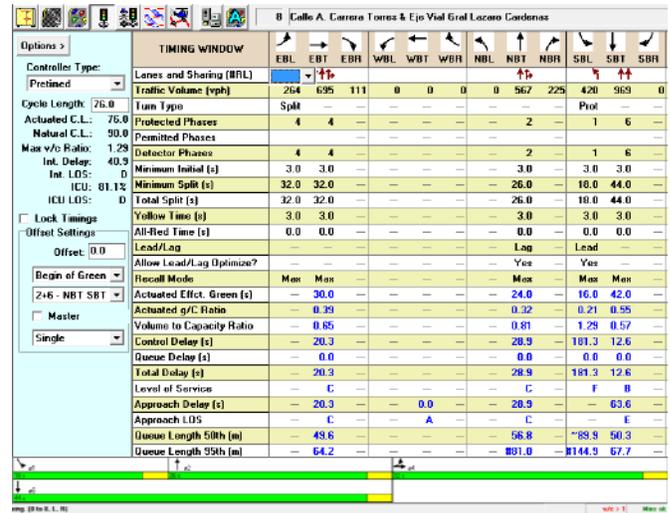


Figura 22. Resumen de nivel de servicio intersección 8.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

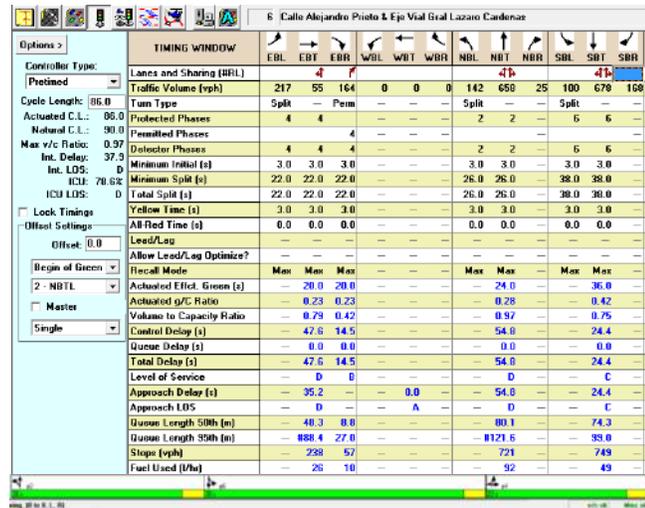


Figura 20. Resumen de nivel de servicio intersección 6.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

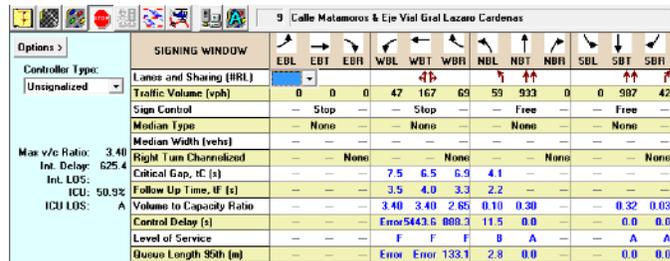


Figura 23. Resumen de nivel de servicio intersección 9.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

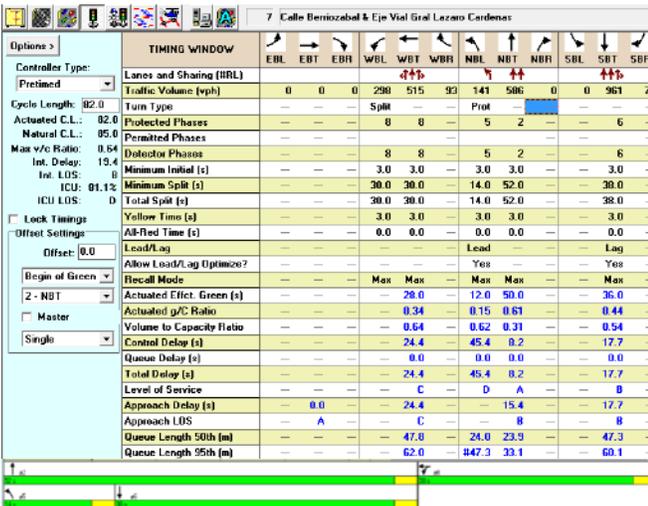


Figura 21. Resumen de nivel de servicio intersección 7.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

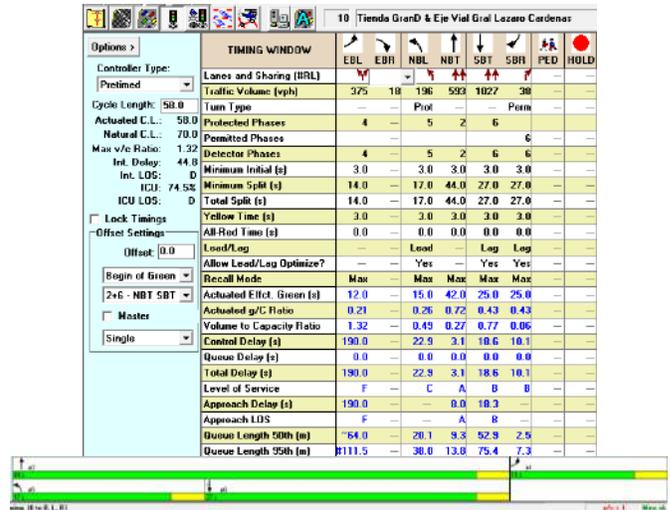


Figura 24. Resumen de nivel de servicio intersección 10.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

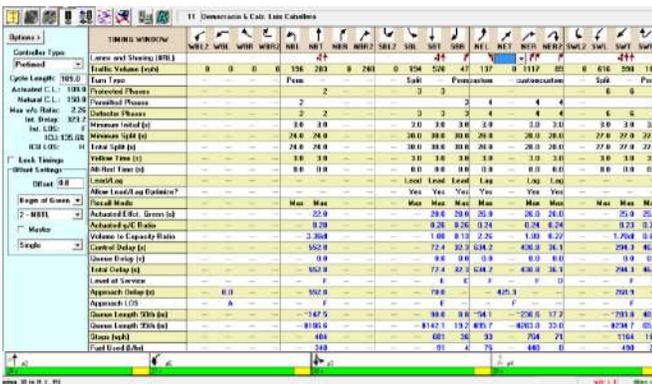


Figura 25. Resumen de nivel de servicio intersección 11. Fuente: Elaboración propia, 2019.

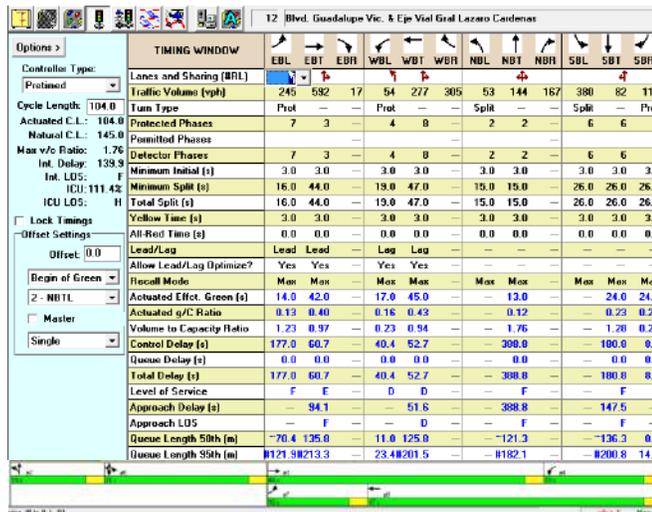


Figura 26. Resumen de nivel de servicio intersección 12. Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se presentan 12 imágenes que ilustran la modificación que se plantea como mejora para cada intersección.

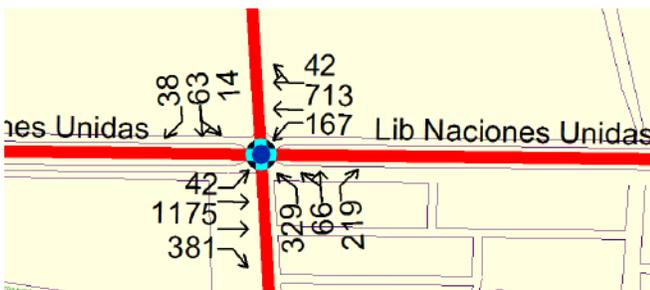


Figura 27. Volumen y movimientos con adecuación intersección 1. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 27, que representa la intersección 1 se recomienda la adición de 2 carriles de almacenaje más en el sentido oeste-este, así mismo un carril de almacenaje en el sentido sur-norte y un acotamiento más en el sentido norte-sur. Otro punto es que se plantea es el uso de un sistema de semaforización, el cual tendrá tiempos de ciclos y movimientos optimizados.

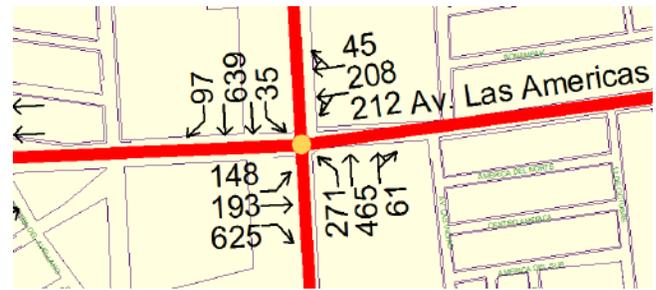


Figura 28. Volumen y movimientos con adecuación intersección 2. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Asimismo, en la figura 28, que hace referencia a la intersección 2, se recomienda la incorporación de un carril de almacenaje en la dirección sur-norte, dos carriles de almacenaje en la dirección norte-sur, así como la optimización de los tiempos de los ciclos del sistema de semaforización, también se plantea la adición de un carril de almacenaje para girar a la izquierda en dirección oeste-este.

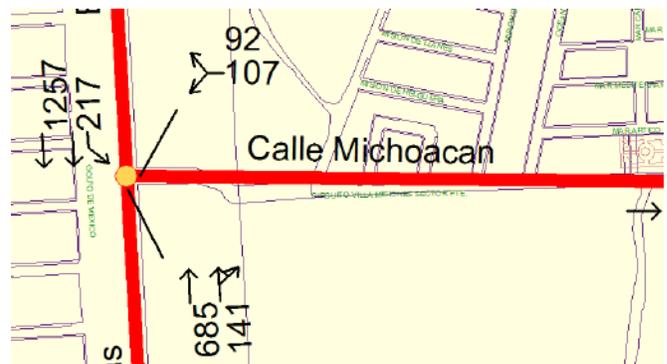


Figura 29. Volumen y movimientos con adecuación intersección 3. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Además, en la figura 29, que representa la intersección 3, se recomienda la utilización de un sistema de semaforización, con la optimización de fases y tiempos de estas, de igual forma se añade un carril de almacenaje para dar vuelta a la izquierda en dirección norte-sur.

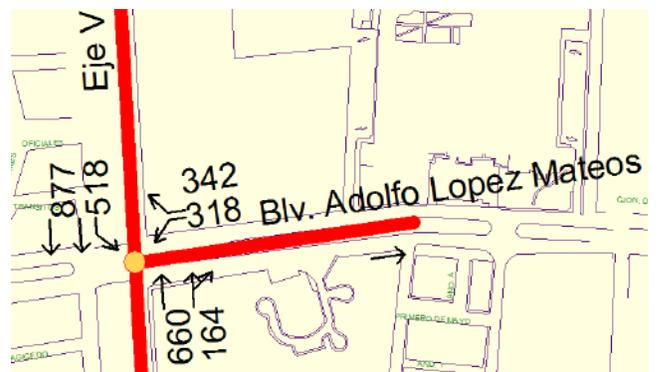


Figura 30. Volumen y movimientos con adecuación intersección 4. Fuente: Elaboración propia, 2019.

La figura 30, que ilustra la intersección 4 se recomienda la adición de un carril de almacenaje para vuelta izquierda en

dirección norte-sur, así como la optimización de los tiempos de los ciclos del sistema de semaforización.

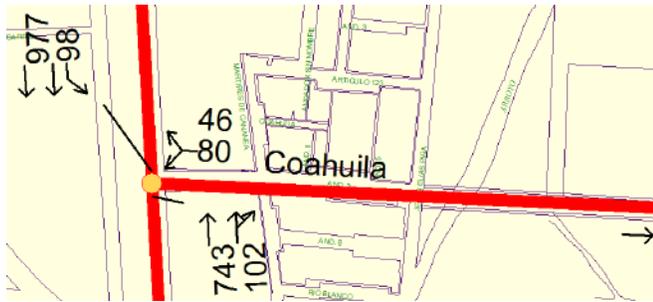


Figura 31. Volumen y movimientos con adecuación intersección 5.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Respecto a la intersección 5, se recomienda la semaforización, adición de un carril de almacenaje para vuelta a izquierda en la dirección norte-sur, esto se ilustra en la figura 31.

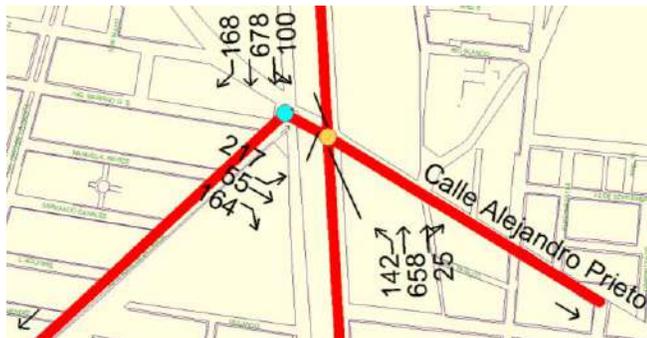


Figura 32. Volumen y movimientos con adecuación intersección 6.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 32, se muestra la intersección 6, a la cual se recomienda la incorporación de un carril de almacenaje para vuelta a izquierda en dirección norte-sur, así mismo la adición de un carril de almacenaje para vuelta a izquierda en dirección sur-norte, también la incorporación de un carril para vuelta a izquierda dirección oeste-este y la optimización de los tiempos de los ciclos del sistema de semaforización.

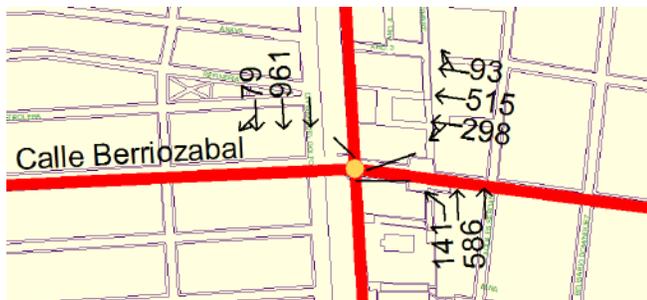


Figura 33. Volumen y movimientos con adecuación intersección 7.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la intersección 7, no se plantea ninguna propuesta de adecuación puesto que esta opera bajo buenos niveles de servicio, véase figura 33.



Figura 34. Volumen y movimientos con adecuación intersección 8.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la intersección 8, se recomienda la optimización de los tiempos de los ciclos del sistema de semaforización, conservando distribución de carriles actuales, véase figura 34.



Figura 35. Volumen y movimientos con adecuación intersección 9.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la intersección 9, se recomienda la implementación de un sistema de semaforización con ciclos y tiempos optimizados, conservando distribución de carriles actuales, véase figura 35.

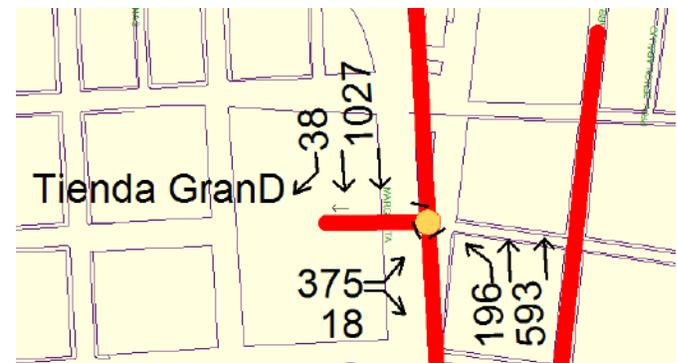


Figura 36. Volumen y movimientos con adecuación intersección 10
Fuente: Elaboración propia, 2019.

La figura 36, referente a la intersección 10, se recomienda la adición de un carril más en la dirección oeste-norte y oeste-sur, para optimizar el movimiento de vehículos en esos sentidos, de igual forma se optimizaron los tiempos de los ciclos.



Figura 37. Volumen y movimientos con adecuación intersección 11.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 37, que hace hincapié a la intersección 1, se sugiere la adición de un carril más en la dirección suroeste-noreste y la eliminación de vueltas a izquierda en dirección norte-sur y sur-norte, la optimización de ciclos y tiempos.

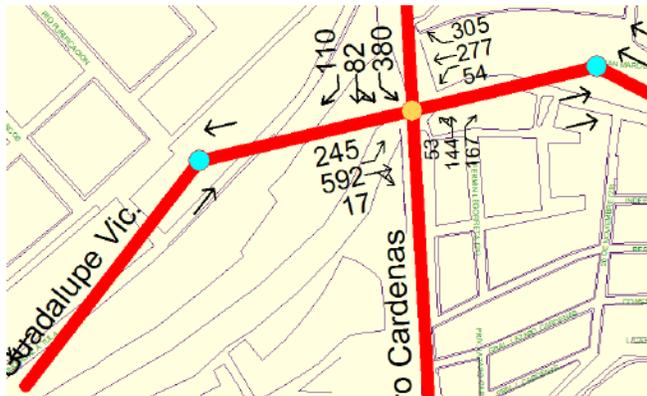


Figura 38. Volumen y movimientos con adecuación intersección 12.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 38, referente a la intersección 12, se muestra la adición de un carril de almacenaje para vuelta a derecha en la dirección norte-sur, la adición de un carril en la dirección sur-norte y la adición de un carril de almacenaje para vuelta a derecha en la dirección este-oeste, de igual forma se optimizaron los tiempos de los ciclos.

Como complemento de las 12 imágenes anteriores se muestran las siguientes, las cuales exponen los niveles de servicio arrojados por el software *Synchro*, bajo los que operaría cada intersección con las mejoras propuestas.

En la figura 39, se muestra que con la propuesta de mejora planteada se logra obtener un nivel D y una razón de volumen capacidad igual a 1 para la intersección 1.

La figura 40, señala que se logra brindar un nivel D de servicio y una relación V/C menor a 1 para la intersección 2.

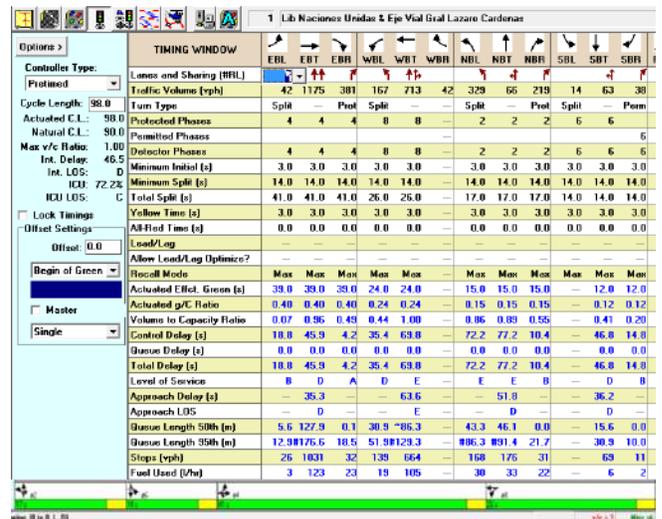


Figura 39. Niveles de servicio con mejora intersección 1.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

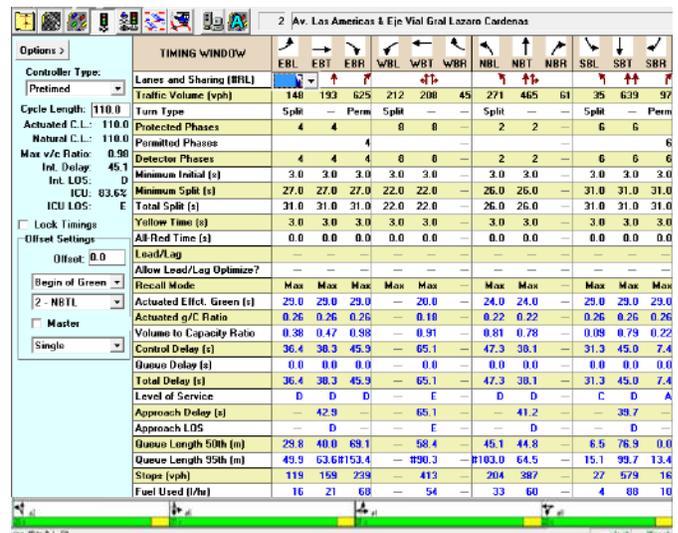


Figura 40. Niveles de servicio con mejora intersección 2.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 41, se puede observar que el nivel de servicio brindado por la adecuación elegida es B y la relación V/C es de 0.64, menor a 1 para la intersección 3.

En la figura 42, se muestra que con la propuesta de mejora planteada se obtuvo un nivel de servicio C y una relación V/C de 0.9, menor a 1, referente a la intersección 4.

En la figura 43, se señala que con la propuesta de mejora se muestra que se logró obtener un nivel de servicio A y una relación V/C de 0.55, menor a 1 para la intersección 5.

En la figura 44, se muestra que con la propuesta de mejora planteada se logró obtener un nivel de servicio C y una relación V/C de 0.74, menor a 1 para la intersección 6, véase figura 43.

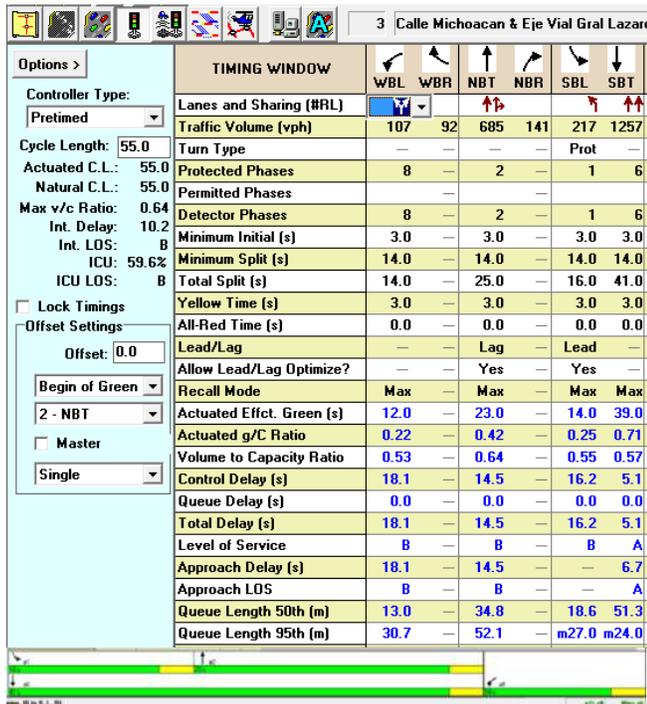


Figura 41. Niveles de servicio con mejora intersección 3.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

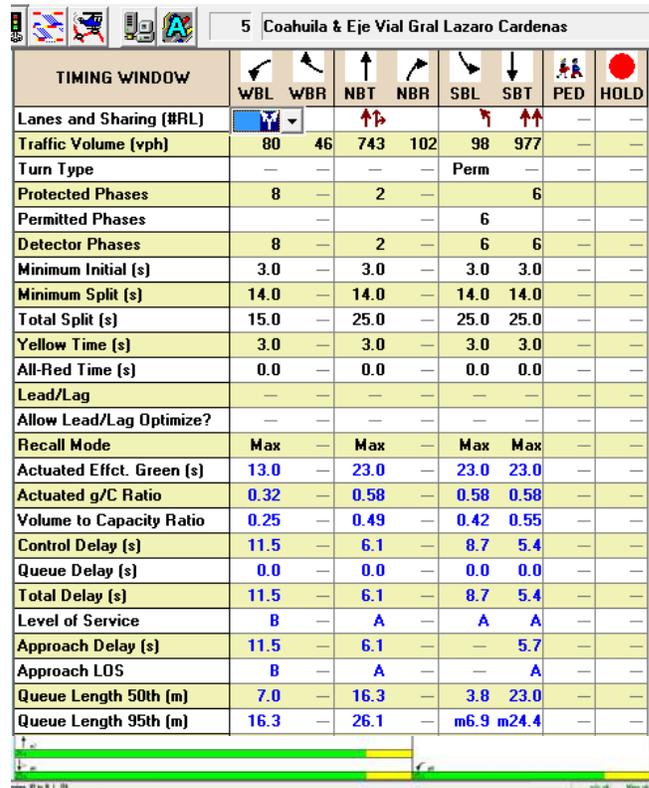


Figura 43. Niveles de servicio con mejora intersección 5.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

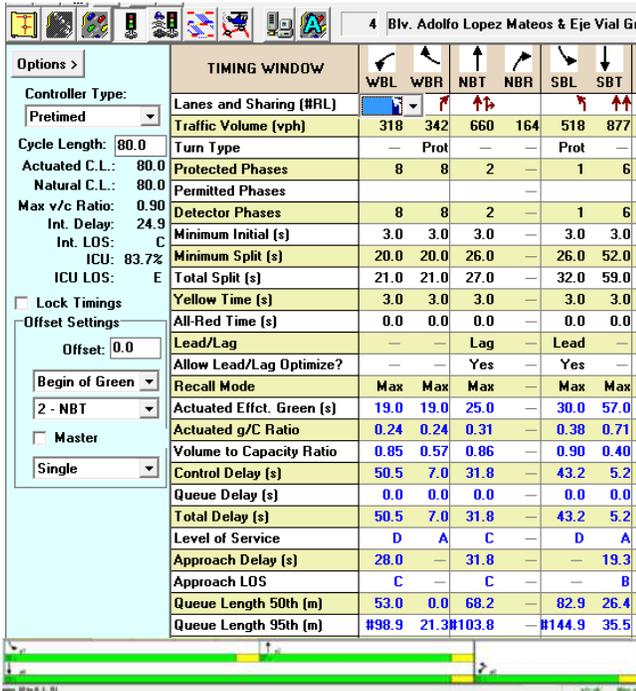


Figura 42. Niveles de servicio con mejora intersección 4.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

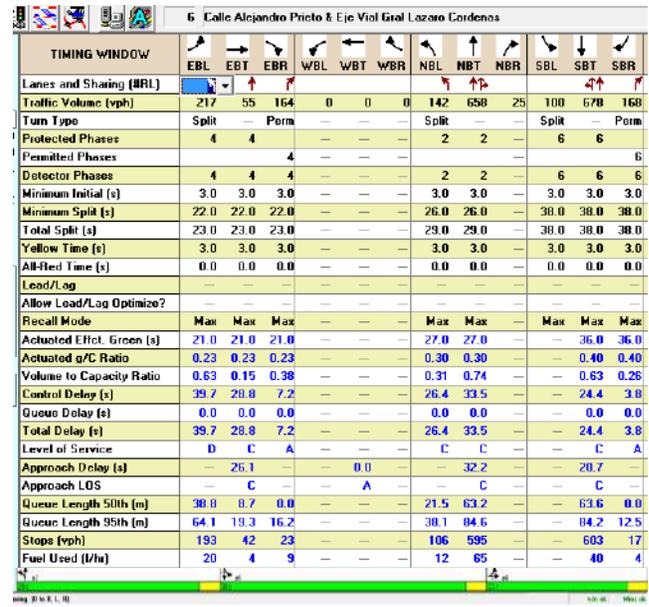


Figura 44. Niveles de servicio con mejora intersección 6.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

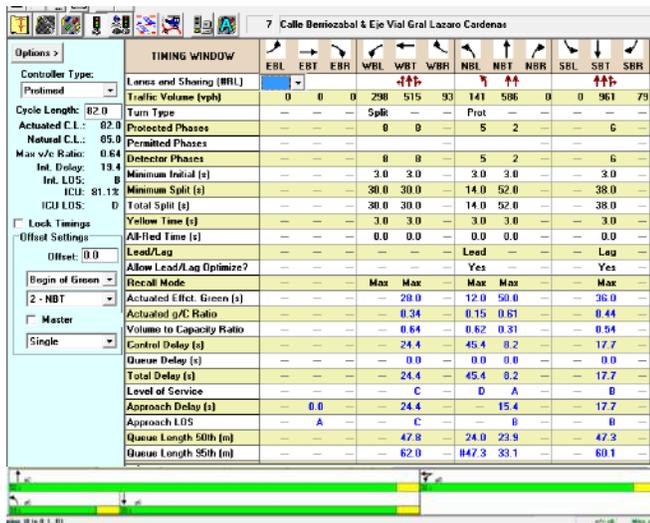


Figura 45. Niveles de servicio con mejora intersección 7. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con la propuesta de servicio con mejora se logró obtener el nivel de servicio B y una relación V/C de 0.64, menor a 1, para la intersección 7, esto se muestra en la figura 45.

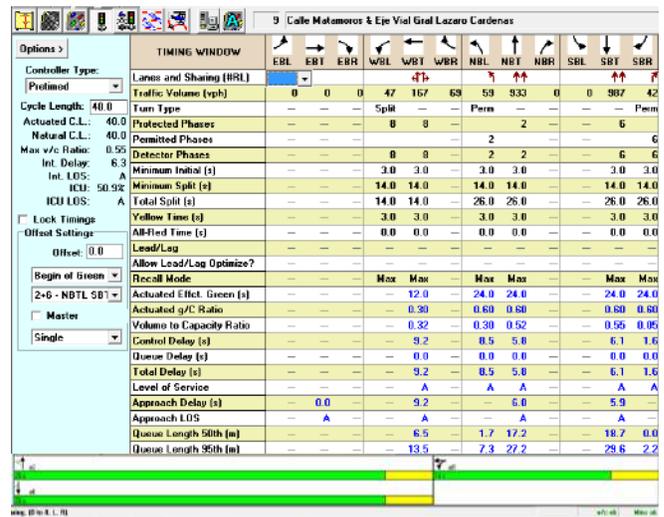


Figura 47. Niveles de servicio con mejora intersección 9. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Referente a la propuesta de servicio con mejora se obtuvo el nivel de servicio es A y el V/C de 0.55, menor a 1, para la intersección 9, esto se ilustra en la figura 47.

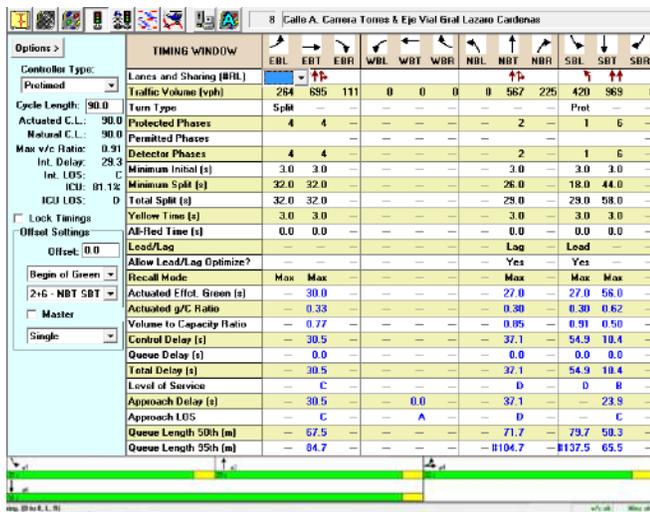


Figura 46. Niveles de servicio con mejora intersección 8. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 46, se puede observar que se obtiene un nivel de servicio C con un V/C de 0.99, menor a 1, para la intersección 8.

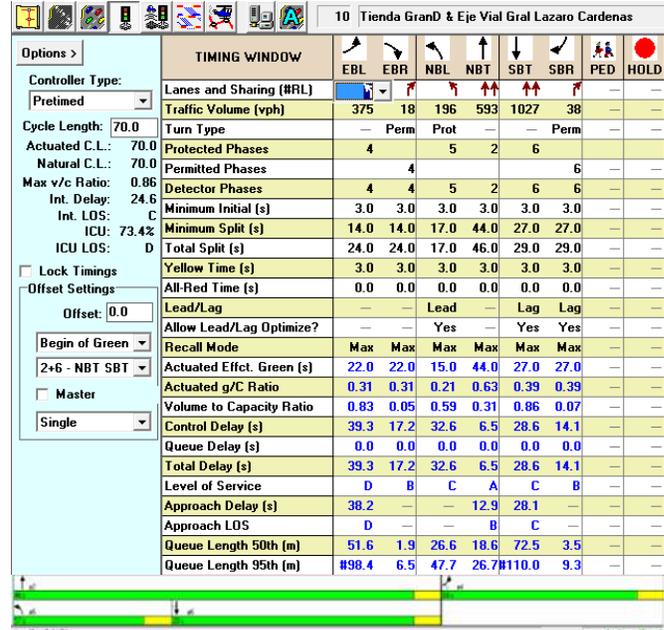


Figura 48. Niveles de servicio con mejora intersección 10. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 48, se ilustra un nivel de servicio C y una relación V/C de 0.86, menor a 1 para la intersección 10.

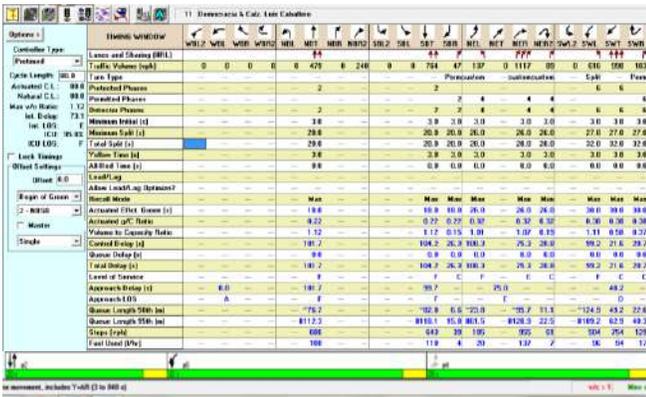


Figura 49. Niveles de servicio con mejora intersección 11.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 49, se muestra que con la mejora se obtiene un nivel de servicio E, con un V/Cs de 1.12, lo cual mejora en gran medida la situación actual para la intersección 11.

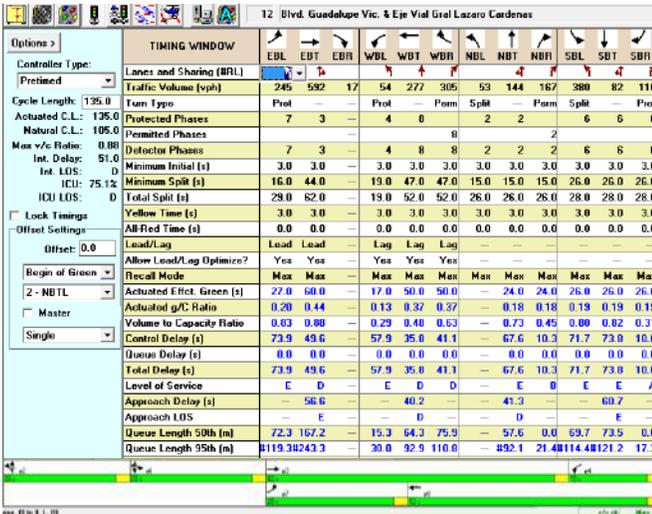


Figura 50. Niveles de servicio con mejora intersección 12.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 50, se ilustra que se obtuvo un nivel de servicio D y la razón V/C es de 0.88, menor a 1 para la intersección 12.

Posteriormente, se ilustran los resultados de las mejoras para las 12 intersecciones en el programa *Simtraffic*.



Figura 51. Mejora SimTraffic intersección 1.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 52. Mejora SimTraffic intersección 2.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 53. Mejora SimTraffic intersección 3.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

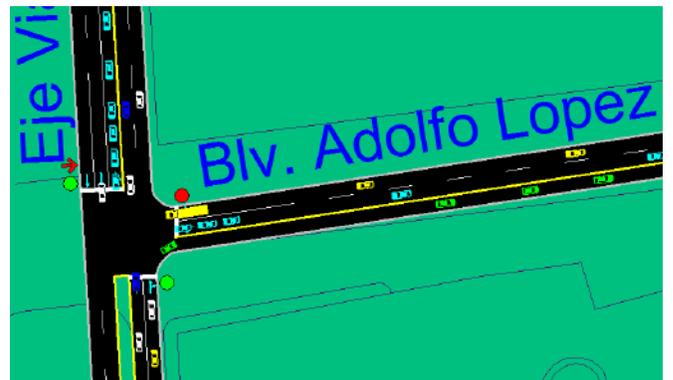


Figura 54. Mejora Simtraffic intersección 4.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

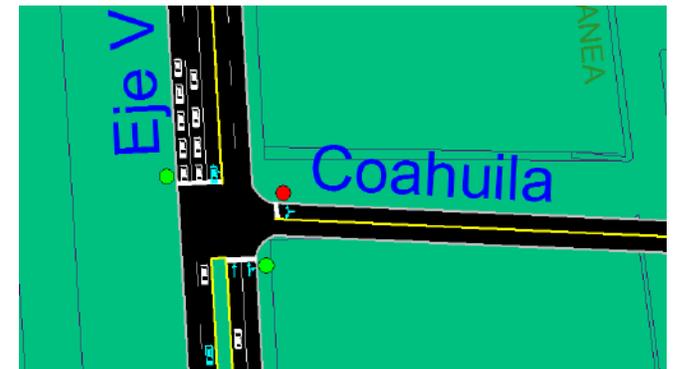


Figura 55. Mejora SimTraffic intersección 5.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 56. Mejora SimTraffic intersección 6.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 59. Mejora SimTraffic intersección 9.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

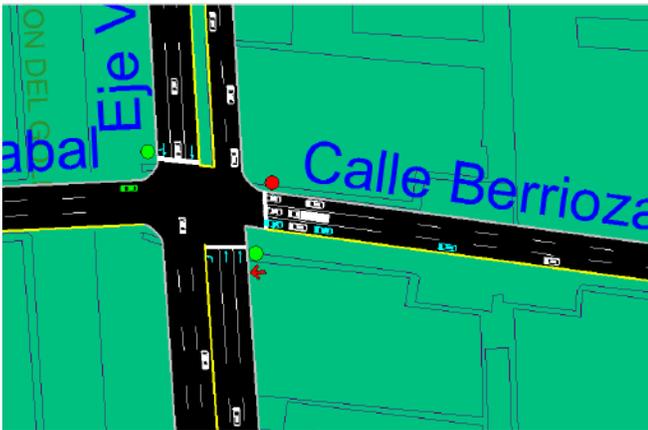


Figura 57. Mejora SimTraffic intersección 7.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

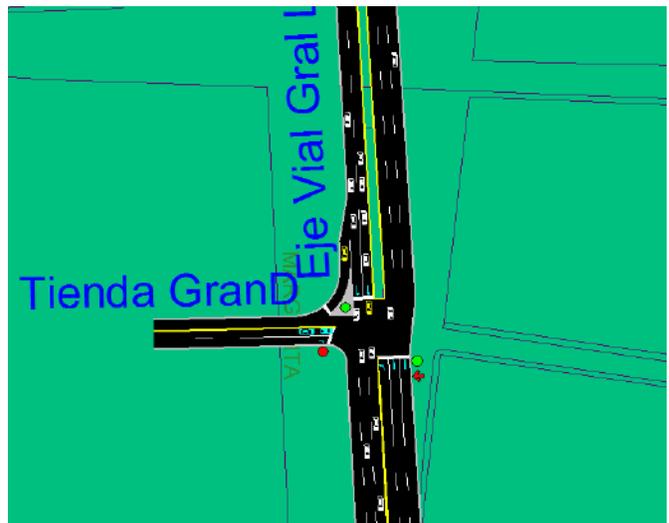


Figura 60. Mejora SimTraffic intersección 10.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 58. Mejora SimTraffic intersección 8.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 61. Mejora SimTraffic intersección 11.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 62. Mejora SimTraffic intersección 12.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para concluir con los hallazgos de esta investigación se realizaron dos resúmenes generales de la totalidad de la vialidad con las 12 intersecciones, uno de ellos es el análisis de la situación actual bajo la que operan las intersecciones y otro, el de las mejoras propuestas para estas mismas, con estos parámetros se pudo realizar un balance costo-beneficio, el cual se puede observar en la figura 63, en el que se aprecian los valores ilustrados, los que se modifican positivamente con las mejoras planteadas, así mismo se le da un pre costo de realizar estas mejoras y se obtiene un beneficio monetario al ejecutarlas, el cual al analizarlos se tiene una relación costo-beneficio de 13:1, lo cual indica que la inversión se recuperaría en un periodo de aproximadamente 11 meses.

SITUACION ACTUAL- SITUACION CON MEJORAS DE EJE VIAL GRAL. LÁZARO CÁRDENAS										
Medida de eficiencia	Demora (horas por día)*	Tiempo de Viaje (horas)	Rendimiento de Combustible (km/Lt.)	Consumo de Combustible (litros)	Emissiones de Monóxido de Carbono (kg)***	Emissiones de Oxido de Nitrogeno (kg)***	Demora por Vehículo (seg/veh)	Índice de Efectividad de Mejora Vial	Velocidad Promedio	Vehículos NO atendidos
Situación Actual	3,679	4,110	4	12,307	229	44	365	3,736	15	2,129
Situación con Mejora	315	730	6	3,026	59	11	30	390	25	297
% Mejora	-3,364	-3,380	2,233333333	9,281	169,93	33,33	335	3,356	-11	1,832
Diaria	-91%	-82%	59%	-75%	-74%	-75%	-92%	-90%	73%	-86%
Beneficio o Afectación Anual**	2,523,000			6,960,750	127,448	24,998				
Costo \$	\$33.0			\$19.4	\$142.0	\$30.0				
Beneficio o Afectación Anual \$	\$10,407,375			\$135,108,158	\$18,097,545	\$749,925				
Beneficio o Afectación Total \$				\$164,363,003						
Costo Proyecto Adecuaciones				\$10,000,000						
Relación Costo- Beneficio				30 : 1						

Figura 63. Relación costo- beneficio situación actual- adecuaciones 12 intersecciones Eje Vial Lázaro Cárdenas.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para realizar estas adecuaciones será necesario llevar a cabo proyectos de ingeniería para estas propuestas, además de mencionar que este estudio fue desarrollado con métodos recomendados por instituciones dedicadas a la ingeniería de tránsito, además para el desarrollo de este mismo fue necesario el manejo del software *Synchro* y *SimTraffic*, en los cuales se modelaron los escenarios necesarios para desarrollar el estudio, así mismo se utilizó la herramienta Excel para el análisis de los resultados y generación de relación costo-beneficio.

También es importante resaltar, que la elaboración del estudio fue realizada gracias a la recolección de los datos mediante la observación cuantitativa que se llevó a cabo mediante aforos manuales, los cuales arrojaron resultados estadísticos con los que fue posible modelar y desarrollar el proyecto. Así mismo estos datos fueron recabados en un solo momento, y el fenómeno bajo estudio fue el volumen vehicular presentado en cada intersección con sus características, sin embargo, hay que tomar en cuenta que estos volúmenes se modifican de maneras periódicas debido a diversos factores como el aumento de población, o saturación de otras vías de movilidad, por lo cual este proyecto como tal tiene un margen de aplicación de 10 años, sin embargo, la metodología y proceso pueden ser usados, hasta que estos sean modificados.

VI. REFERENCIAS

- Quintero, J. R. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte. *Facultad de Ingeniería*, 20, 65-77. Recuperado de Redalyc.
- Quintero, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21, 57-72. Recuperado de Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Cal, R. y Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones* (8a ed.). México: Alfaomega.
- Consultoría de ingeniería de tráfico y ambiental [CONSINTRA] (2018). *Modelaje del estudio de ingeniería vial con aforos vehiculares*. México.
- Blanco, R. (2014). *Nivel de servicio del corredor San lázaro – Río de los remedios, antes y después de la implementación de la línea 5 del metrobús*. (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4205/Tesis.pdf?sequence=1>.
- Reyna, P. (2015). *Propuesta de mejora de niveles de Servicio en dos intersecciones*. Recuperado de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/581516/REYNA_PP.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (2ª ed.). Colombia: Agora Editores
- Mozo, J. (2012). *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD*. (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A6.pdf?sequence=6>
- Ziliaskopoulos, T. (2018). *Transportation systems operations. Estados Unidos*
- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2001). *A policy on geometric design of highways and streets 2001*. Recuperado de https://www.bestmaterials.com/PDF_Files/geometric_design_highways_and_streets_aashto.pdf
- Mejía, I. A. (2017). *Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de mayo y Vía al Valle, de la ciudad de Cuenca*. (Tesis de maestría). Recuperada de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28111/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>.
- Husch, D. y Albeck, J. (2001). *Synchro user guide. Estados Unidos de América: Trafficware*.