

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

**Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria
en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

PRESENTA

Andrés Alejandro Mejía Hernández

Directora de la Tesis

Dra. Miriam Evelia Téllez Ballesteros

Ciudad de México, marzo de 2025.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Dedicatoria.

A Dios, por darme la fuerza, salud, sabiduría y el entendimiento para siempre seguir adelante, por darme la familia que me tocó, que confío plenamente que me seguirá dando ese ánimo de seguir mejorando en todos los aspectos y por permitirme terminar mi carrera universitaria.

A mis padres Ma. Del Carmen Hernández y Jesús Mejía Balderas, que desde el cielo me observan y que estoy seguro estarán presentes este día de mi sustentación de tesis; por su amor incondicional y su apoyo constante en cada paso de mi vida sin dejarme solo, por todos sus sacrificios y consejos dándome todo lo necesario para llegar hasta aquí. ¡Este logro también es de ustedes!

A mi hermano Luis Fernando Mejía Hernández, que me apoyas en todo momento, por tu ayuda de no dejarme solo para llegar a esta meta tan importante, tu compañía es mi motivo de seguir con mis sueños. Este logro es tanto mío como tuyo, porque sin tu constante presencia, no habría sido posible. Te dedico este esfuerzo y resultado con todo mi cariño y gratitud, sabiendo que este es solo el comienzo de muchas más metas que alcanzaremos juntos.

A mi segunda familia: mis tíos José Luis Hernández Balderas y Esperanza Alvarado Solorio y a mis primos Luis, Fernando, Rodolfo y Nieves Ivett, que siempre me dieron palabras de aliento para no desistir de la carrera, que su apoyo también es parte de este trabajo.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Agradecimientos.

A Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, que me ha proporcionado la sabiduría y el coraje para enfrentar cada desafío y gracias a su infinita bondad, hoy puedo celebrar este logro con gratitud y humildad.

A mis amigas y amigos, por su apoyo emocional, por todos los buenos momentos, las risas y vivencias durante la carrera, por estar siempre a mi lado y por compartir sus conocimientos y experiencias para enriquecer mi aprendizaje.

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, por ser mi alma mater y al Colegio de Ciencia y Tecnología por permitirme desarrollarme académica y profesionalmente.

A mi tutora la Dra. Miriam Téllez, todo mi agradecimiento, por su invaluable asesoría, su tiempo, paciencia y motivación a lo largo de este proyecto, que, a pesar de todas las travas, confió en mí.

Y a todos los profesores que pusieron un todo su empeño para formarme profesionalmente.

Contenido

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas	9
Índice de Fórmulas	10
1 Introducción	11
2 Planteamiento del problema	14
2.1 Justificación	16
2.2 Objetivos generales y específicos	18
2.2.1 <i>Objetivos generales</i>	18
2.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
3 Marco Teórico	19
3.1 Definición de Ingeniería de Tránsito	19
3.1.1 <i>Aforo de tránsito</i>	19
3.1.2 <i>Definiciones: vía primaria y vía secundaria</i>	19
3.1.3 <i>Intersección</i>	20
3.1.4 <i>Dispositivos de control de tránsito</i>	20
3.1.5 <i>Semáforos</i>	21
3.1.6 <i>Señalización horizontal</i>	23
3.1.7 <i>Señalización vertical</i>	23
3.1.8 <i>Método de Webster</i>	23
3.1.9 <i>Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) (versión 2000)</i>	23
3.2 Revisión de literatura	25
3.3 Estado del arte del software para análisis semafórico	27
3.3.1 <i>INRIX Signal Analytics</i>	27
3.3.2 <i>SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)</i>	27
3.3.3 <i>QUADSTONE PARAMICS</i>	28
3.3.4 <i>TransCAD</i>	28
3.3.5 <i>SIDRA</i>	29
3.3.6 <i>AIMSUN</i>	29

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

3.3.7	ANYLOGIC.....	30
3.3.8	Software HCS (versión 2000).....	30
3.3.9	Synchro Studio.....	31
3.3.10	PTV VISSIM.....	32
4	Diagnóstico de las condiciones actuales en la Arteria Semaforizada.....	38
5	Cálculo de Ciclos óptimos, Medidas Operativas de Efectividad (demora) y reglaje mínimo peatonal.....	48
5.1	Proceso para cuadrar los volúmenes de la arteria.....	48
5.2	Cálculo de la Medida Operativa de Efectividad: demora total de cada intersección utilizando el método de Webster y del HCM 2000 para comparar las condiciones en cada caso.	58
5.3	Cálculo de los tiempos de semáforo de cada intersección empleando el Método Manual....	73
5.4	Tiempo de ciclo propuestos por HCS y Synchro 6.0.....	95
5.5	Reglaje mínimo peatonal con criterios del HCM 2000.....	97
6	Diagnóstico operación vial actual: Análisis de cada intersección y a nivel arterial, con los criterios del HCM de 2000.	101
6.1	Diagnóstico de la operación actual con Synchro versión 6.0.....	104
7	Escenarios de Mejoramiento.	111
7.1	Mejora de bajo costo M1.....	111
7.2	Mejora de mediano costo M2.....	115
7.3	Mejora de alto costo M3.....	119
7.4	Comparativa de escenarios.....	123
7.5	Selección de opción de mejora y análisis como sistema progresivo.....	131
8	Conclusiones.....	134
8.1	Conclusiones por objetivos.....	135
9	Recomendaciones.	138
	Referencias.....	140
	Anexos.....	143
	Anexo 1. Volúmenes de HMD por intersección.	143
	Anexo 2. Tablas para análisis arterial capítulo 15 del HCM '00.....	148
	Anexo 3. Tablas HCM '00.	148
	Anexo 4. Formatos HCM '00.	149

*Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de
Mesones a Venustiano Carranza.*

Anexo 5. Formato análisis arterial.....	161
Anexo 6. Tabla análisis arterial.....	162
Anexo 7. Tablas Modelo de Webster.	164

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Índice de Figuras.

Figura 2.1. Crecimiento del parque vehicular de 1980 a 2020.	14
Figura 2.2. Viajes realizados de la ZMVM a Alcaldía Cuauhtémoc.	15
Figura 2.3. Tráfico en la zona de estudio.	17
Figura 4.1. Zonas de la Colonia Centro.	38
Figura 4.2. Usos de suelo de la zona de estudio zona Centro IV y V.	39
Figura 4.3. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Mesones.	40
Figura 4.4. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Mesones.	40
Figura 4.5. Afectación vehicular en Isabel la Católica esq. Mesones, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.	41
Figura 4.6. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Rep. del Salvador.	42
Figura 4.7. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Rep. del Salvador.	42
Figura 4.8. Afectaciones vehiculares en Isabel la Católica esq. Rep. del Salvador, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.	43
Figura 4.9. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Rep. de Uruguay.	44
Figura 4.10. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Rep. de Uruguay.	44
Figura 4.11. Afectaciones vehiculares en Isabel la Católica esq. Rep. de Uruguay, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.	45
Figura 4.12. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Venustiano Carranza.	46
Figura 4.13. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Venustiano Carranza.	46
Figura 4.14. Afectaciones viales en Isabel la Católica esq. Venustiano Carranza, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.	47
Figura 5.1. Diagramas con movimientos direcciones de cada intersección.	49
Figura 5.2. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y Mesones.	49
Figura 5.3. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y República del Salvador.	50
Figura 5.4. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y República de Uruguay.	50
Figura 5.5. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y Venustiano Carranza.	51
Figura 5.6. Selección de intersección maestra.	52
Figura 5.7. Volúmenes cuadrados desde la intersección maestra.	56
Figura 5.8. Volúmenes transformados a vehículos equivalentes (qADE).	57
Figura 5.9. Demoras por acceso con el Modelo de Webster.	61
Figura 5.10. Demora total por acceso y por intersección.	63
Figura 5.11. Demora total de cada intersección con su nivel de servicio.	64
Figura 5.12. Demora total por acceso y por intersección con HCM 2000.	70
Figura 5.13. Demora total de las intersecciones con Nivel de Servicio con el HCM 2000.	71
Figura 5.14. Anchos de carril y fases actuales.	74
Figura 5.15. Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Mesones.	80
Figura 5.16. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Mesones.	80
Figura 5.17. Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Rep. del Salvador.	84

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.18. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Rep. del Salvador.....	85
Figura 5.19. Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Rep. de Uruguay.	89
Figura 5.20. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Rep. de Uruguay.....	89
Figura 5.21. Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Venustiano Carranza.....	93
Figura 5.22. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Venustiano Carranza.	94
Figura 5.23. Optimización de tiempo de ciclo en HCS.	95
Figura 5.24. Optimización de tiempo de ciclo en Synchro 6.0.....	96
Figura 5.25. Medidas de los cruces peatonales por intersección.	100
Figura 6.1. Condiciones geométricas actuales de la zona de análisis.	104
Figura 6.2. ICU y Nivel de Servicio de las condiciones actuales.	105
Figura 6.3. Demoras de las condiciones actuales.	106
Figura 6.4. Consumo de combustible en las condiciones actuales de flujo vehicular.	107
Figura 6.5. Emisiones en las condiciones actuales de flujo vehicular.....	108
Figura 7.1. Condiciones geométricas de la mejora de bajo costo.	111
Figura 7.2. ICU y Nivel de Servicio de la mejora de bajo costo.....	112
Figura 7.3. Demoras de la mejora de bajo costo por intersección.	113
Figura 7.4. Representación del consumo de combustible con la mejora de bajo costo.	114
Figura 7.5. Representación de emisiones contaminantes con la mejora de bajo costo.	115
Figura 7.6. Condiciones geométricas de la mejora de mediano costo.	116
Figura 7.7. ICU y Nivel de Servicio de la mejora de mediano costo.....	116
Figura 7.8. Demoras de la mejora de mediano costo por intersección.	117
Figura 7.9. Representación del consumo de combustible con la mejora de mediano costo.	118
Figura 7.10. Representación de emisiones contaminantes del flujo vehicular con la mejora de mediano costo.....	119
Figura 7.11. Condiciones geométricas de la mejora de alto costo.	120
Figura 7.12. ICU y Nivel de Servicio de la mejora de alto costo.....	120
Figura 7.13. Demoras de la mejora de alto costo por intersección.	121
Figura 7.14. Representación del consumo de combustible con la mejora de alto costo.	122
Figura 7.15. Representación de emisiones contaminantes con la mejora de alto costo.	123
Figura 7.16. Comparativa de reducción de demoras por opción de mejora.	126
Figura 7.17. Disminución de consumo de combustible por opción de mejora.	127
Figura 7.18. Comportamiento de emisiones de CO por cada escenario de mejora.	129
Figura 7.19. Comportamiento de emisiones de NOx por cada escenario de mejora.....	130
Figura 7.20. Comportamiento de emisiones de VOC por cada escenario de mejora.....	131
Figura 7.21. Condiciones geométricas de la mejora de mediano costo por intersección.	132
Figura 7.22. Simulación de la mejora de mediano costo en arteria completa con Synchro.	132
Figura 7.23. Diagrama espacio-tiempo, para el sistema progresivo simple.	133

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Índice de Tablas.

Tabla 2.1. Crecimiento del parque vehicular por década de 1980-2020 en la CDMX.	14
Tabla 3.1. Clasificación de los dispositivos de control del tránsito.....	21
Tabla 3.2. Comparativa de los softwares investigados.....	34
Tabla 5.1. Demoras por acceso en cada intersección.....	60
Tabla 5.2. Comparativa de nivel se servicio en demora para cada intersección.....	62
Tabla 5.3. Resultados de demoras por intersección con el HCM 2000.	72
Tabla 5.4. Comparativa de demoras y Nivel de Servicio entre Metodologías.....	73
Tabla 5.5. Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 45 seg.	79
Tabla 5.6. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 43 seg.....	80
Tabla 5.7. Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 28 seg.	84
Tabla 5.8. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 24 seg.....	85
Tabla 5.9. Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 39 seg.	88
Tabla 5.10. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 31 seg.....	89
Tabla 5.11. Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 36 seg.	93
Tabla 5.12. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 30 seg.....	93
Tabla 5.13. Tiempo de ciclo con Webster comparado con situación actual.	94
Tabla 5.14. Comparativa del tiempo de ciclo actual con la optimización con HCS y Synchro 6.0.....	96
Tabla 5.15. Totales peatonales por intersección.	97
Tabla 5.16. Reglaje mínimo peatonal por intersección.	99
Tabla 6.1. Nivel de servicio por segmento.....	103
Tabla 6.2. Nivel de servicio arterial.....	104
Tabla 6.3. Demoras de las condiciones actuales.....	105
Tabla 6.4. Consumo de combustible en las condiciones actuales de flujo vehicular.	106
Tabla 6.5. Registro de emisiones en las condiciones actuales de flujo vehicular.....	107
Tabla 6.6. Comparativa de nivel de servicio con HCM y Synchro 6.0.....	110
Tabla 7.1. Demoras, ICU y Nivel de Servicio con la mejora de bajo costo.....	112
Tabla 7.2. Consumo de combustible del flujo vehicular con la mejora de bajo costo.	114
Tabla 7.3. Emisiones contaminantes con la mejora de bajo costo.....	115
Tabla 7.4. Demoras, ICU y Nivel de Servicio con la mejora de mediano costo.....	117
Tabla 7.5. Consumo de combustible del flujo vehicular con la mejora de mediano costo.	118
Tabla 7.6. Emisiones contaminantes del flujo vehicular con la mejora de mediano costo.....	119
Tabla 7.7. Demoras y Nivel de Servicio con la mejora de alto costo.	121
Tabla 7.8. Consumo de combustible del flujo vehicular con la mejora de alto costo.	122
Tabla 7.9. Emisiones contaminantes del flujo vehicular con la mejora de alto costo.....	123
Tabla 7.10. Comparativa de Demoras y Nivel de Servicio por intersección.	125
Tabla 7.11. Reducción de consumos de combustible registrado por opción de mejora.....	126
Tabla 7.12. Reducción de emisiones por escenario de mejora.	128

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Índice de Fórmulas

Demora por acceso (1)	58
Demora total por intersección (2)	58
Demora uniforme (3)	65
Demora incremental (4)	65
qADE Movimiento de giro a la izquierda (5)	75
qADE Movimiento de frente(6)	75
qADE Movimiento de giro a la derecha (7)	76
"γ" Intervalo de cambio de fase (8)	76
"li" Tiempo perdido por fase (9)	77
"L" Tiempo perdido por ciclo (10)	77
"Yi" Flujo de saturación (11)	78
"Co" Longitud del ciclo óptimo (12)	78
"gT" Tiempo de verde efectivo (13)	78
"gi" Reparto de tiempo de verde (14)	79
Reglaje mínimo peatonal con cruce > a 3 m (15)	97
Reglaje mínimo peatonal con cruce <= a 3 m (16)	98

1 Introducción.

En la Ciudad de México, se presentan muchos problemas por los retrasos y demoras, con respecto al crecimiento exponencial del parque vehicular, que es de aproximadamente 3.89% al año (INEGI, 2022) y al incremento poblacional, que en la última década corresponde al 4.05% (CONAPO, 2023), puesto que, complica mucho el desplazarse hacia otro punto de la ciudad, y aún más en la hora de máxima demanda conocida coloquialmente como “hora pico” (por ejemplo la entrada y salida de las escuelas, las oficinas) sin olvidar la mala educación vial que hay en el país, que hace que los conductores tanto de vehículos particulares como operadores de transporte público y los mismos peatones, no respeten ningún semáforo, señalamientos, ni el reglamento de tránsito, generando demasiada contaminación, estrés, enfermedades a largo plazo y accidentes que pudieran resultar en una situación lamentable.

Siendo las demoras uno de los problemas de movilidad en la Ciudad de México, se han creado herramientas computacionales de simulación que brindan ayuda para poder analizar y proponer soluciones a las condiciones de circulación, pero sobre todo de congestión que hay actualmente. Y es precisamente el sentido del presente trabajo, en el que se realiza un análisis y propuesta de mejora para un corredor semaforizado en la Ciudad de México (CDMX), el cual está ubicado en la calle de Isabel la Católica en sus cruces desde calle Mesones hasta Venustiano Carranza, alcaldía Cuauhtémoc. Es importante señalar que la complejidad de este análisis radica en que la arteria vial se encuentra en la zona centro de la CDMX, por lo que se describirá brevemente la estructura considerada para el desarrollo, y que tiene la finalidad de lograr como objetivo general, definir las necesidades de adecuación vial para dar mayor fluidez al tránsito que circula por el corredor mencionado. A partir de este planteamiento, se procuraron un conjunto de acciones que permitieron mejorar las condiciones del tránsito vehicular y peatonal, atendiendo aspectos físicos y operativos de la vialidad, a través de nueve capítulos.

En el capítulo uno se describe brevemente la problemática a analizar en esta tesis, delimitando algunos de los factores que ocasionan esta problemática de acuerdo a datos de fuentes oficiales como INEGI y CONAPO.

En el capítulo dos, se presenta el Planteamiento del Problema, en donde se describió la situación actual de la zona de estudio, con datos generales sobre el crecimiento vehicular y los viajes que se realizan junto con características microscópicas de la zona de análisis, como zonas aledañas y tipos de transporte que hay en circulación; también se incluyeron la justificación y los objetivos que se pretenden lograr.

En el capítulo tres, se describió el Marco Teórico, donde se definieron algunos de los términos más relevantes para comprender mejor el fundamento de este trabajo, en seguida se presentó el análisis de la revisión de la literatura, para considerar brevemente lo que otros autores (en trabajos académicos similares) han realizado en sus estudios, sobre el análisis de sincronización semafórica, la capacidad y el nivel de servicio. Este capítulo, también contiene la investigación del estado del arte de los paquetes de

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

cómputo para micro simulación del comportamiento de los flujos vehiculares, que al paso del tiempo han mostrado tener mejores características para realizar análisis microscópicos del tránsito.

El capítulo cuatro, corresponde al diagnóstico de la zona de estudio y su ubicación; describiendo a detalle las características del flujo vehicular, peatonal, condiciones del pavimento, señalización, zonas aledañas y edificios importantes.

En el capítulo cinco, se describió a detalle el proceso para calcular el ciclo óptimo semafórico para la arteria vial, así como para cada intersección semaforizada en la zona de estudio, cuadrando los volúmenes (para que los flujos vehiculares tengan continuidad), obteniendo las demoras utilizando dos modelos diferentes de la Teoría del Flujo del Tráfico, a saber, el método de Webster y el Manual de Capacidad de Carreteras en su versión 2000 (HCM¹ 2000); asimismo, se presentó el cálculo del reglaje mínimo peatonal, utilizando los criterios del HCM 2000.

En el capítulo seis, se realizó el análisis de cada intersección de manera manual con los criterios del Manual de Capacidad de Carreteras del 2000, considerando varios factores como el de vehículos pesados; el de movimientos de giro a la izquierda y a la derecha; la relación intensidad-capacidad; la relación entre el tiempo de verde y el tiempo de ciclo (g/C); las demoras d1 (demora incremental) y d2 (demora uniforme); así como la capacidad para calcular la Medida Operativa de Efectividad (MOE), que es la demora media de parada, indicador que permite determinar el nivel de servicio; asimismo, se realizó el análisis a nivel arterial de manera manual, considerando la relación intensidad-capacidad, la relación entre el tiempo de verde y el tiempo de ciclo (g/C), las demoras d1 (demora incremental) y d2 (demora uniforme), el factor de progresión, la distancia entre intersecciones; lo cual permitió calcular el tiempo de viaje y la velocidad de viaje, a través de los cuales se pudo establecer el nivel de servicio arterial.

Hasta este capítulo fue posible contar con todos los elementos que permitieron tener un conocimiento de la zona de estudio y de la operación vial, para poder continuar con la fase de propuesta de escenarios de mejoramiento.

En el capítulo siete, se analizaron tres propuestas de mejoramiento para la zona de estudio. La primera mejora, considerada de bajo costo, no requiere modificaciones a la infraestructura; consiste en aplicar un operativo vial con oficiales de tránsito para mejorar las condiciones de circulación, estableciendo un punto de control eliminando el paso de vehículos pesados por la zona de estudio, sólo durante el periodo de máxima demanda; la mejora de mediano costo se refiere a aquella que representa pocas modificaciones para mejorar el nivel de servicio; y la mejora de alto costo indica hacer modificaciones a toda la infraestructura existente; terminado este análisis se determinó la opción que conviene aplicar a la arteria de análisis en términos de la mejora operativa.

En el capítulo ocho, se presentaron las conclusiones (de manera cualitativa y cuantitativa) y las recomendaciones (de manera cualitativa), con respecto a los resultados de los datos analizados y de la propuesta de mejora seleccionada, que a su vez permitirá posibles acciones a tomar en un futuro para

¹ Por sus siglas en inglés: Highway Capacity Manual (HCM)

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

favorecer una buena condición operativa, que se traduzca en mantener un buen nivel de servicio en la zona de estudio.

Por último, en el capítulo nueve se describieron las recomendaciones a futuro para posteriores análisis, tanto de la arteria considerada, como en general para la Ciudad de México; considerando el uso de software especializado para un resultado más preciso y efectivo para la movilidad.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

2 Planteamiento del problema.

El incremento del parque vehicular en la Ciudad de México al paso del tiempo, ha generado una gran problemática en cuanto a congestionamientos, altos tiempos de demora y traslado a los destinos, de contaminación y salud para las personas.

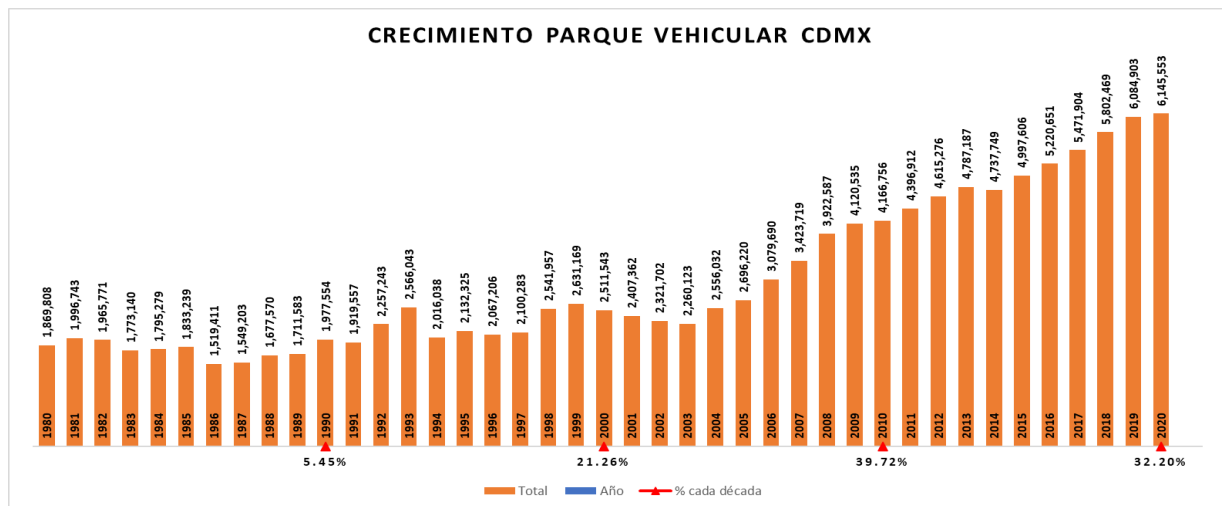
Esto ha generado muchos problemas de movilidad, porque según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), de 1980 a 2020, el parque vehicular ha aumentado de manera exponencial, indicando que en 1980 se tuvieron 1,869,808 vehículos registrados; para 1990 fue un 5.45% más; para el año 2000 esta cifra aumentó un 21.26%; para 2010, se tuvo el crecimiento mayor en un 39.7%, para 2020 los vehículos registrados se elevaron en un 32.2%, llegando a la cifra de 6,145,553. En la Tabla 2.1 se muestran los datos con los incrementos correspondientes mencionados. Presentándolos también gráficamente en la Figura 2.1.

Tabla 2.1. *Crecimiento del parque vehicular por década de 1980-2020 en la CDMX.*

Año	Vehículos Registrados	% incremento
1980	1,869,808	0%
1990	1,977,554	5.45%
2000	2,511,543	21.26%
2010	4,166,756	39.72%
2020	6,145,553	32.20%

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 1980-2020.

Figura 2.1. *Crecimiento del parque vehicular de 1980 a 2020.*

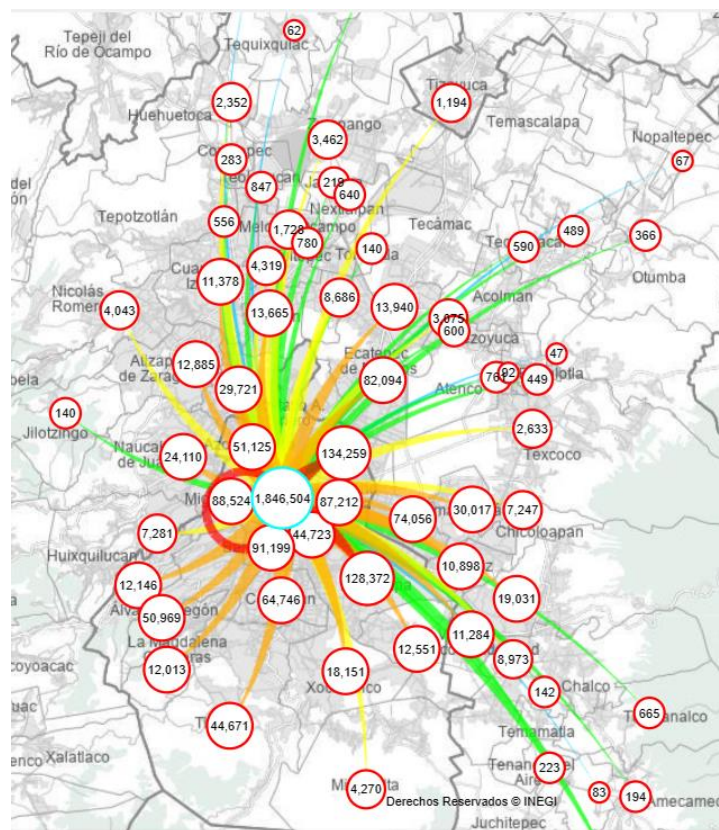


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 1980-2020.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Al acercarse más al punto de estudio, el incremento en el parque vehicular también incide de manera importante a nivel local, donde según la Encuesta Origen-Destino (EOD) 2017 de INEGI, los viajes que llegan a la Alcaldía Cuauhtémoc desde la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), son un total de 1,846,504 viajes entre semana, como se muestra en la Figura 2.2.

Figura 2.2. Viajes realizados de la ZMVM a Alcaldía Cuauhtémoc.



Fuente: Elaboración propia con datos de la EOD-INEGI, 2017.

De acuerdo con información del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de la Alcaldía Cuauhtémoc (2008), el diseño de la capacidad de las calles por falta de planeación a futuro y por el tipo de actividades que se realizan (en su mayoría comercio), es insuficiente con problemas para el nivel de servicio necesario, puesto que, por falta de estacionamientos públicos, los comercios se “adueñan” de las banquetas y obligan a los usuarios a descender sobre la carpeta de rodadura, afectando el libre flujo tanto de vehículos como de peatones, así como en las “zonas de carga-descarga” de mercancías que no están señalizadas y obstruyen el paso de los vehículos, generando atascos y embotellamientos; sin olvidar la gran cantidad de personas que llegan a esta Alcaldía por los diferentes medios de transporte como el metro (estaciones: Zócalo, Pino Suárez, Isabel la Católica), taxis, transporte público colectivo y vehículos particulares.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Otro de los problemas que se presenta y que genera demoras, congestionamiento y retrasos en los viajes de los vehículos, es la falta de coordinación semafórica en las intersecciones, puesto que, al haber tantos vehículos circulando por las calles del centro de la Ciudad de México (CDMX), su funcionamiento ya no es el óptimo y es necesario intervenir para lograr una mejora, específicamente en las intersecciones que están localizadas en la zona centro; habiéndose seleccionado para este análisis el tramo del corredor de Isabel la Católica en sus cruces con las calles de Mesones a Venustiano Carranza.

Como todas las vialidades en las zonas de mayor congestión, se requiere de una revisión continua por la dinámica de la movilidad de las personas y el flujo vehicular, para evitar que se conviertan en puntos conflictivos con altos tiempos de retraso.

2.1 Justificación.

El incremento en la afluencia vehicular sobre las calles de la CDMX, ha ocasionado afectaciones a los flujos de circulación, incrementando también el número de hechos de tránsito, sin olvidar el elemento principal de esta tesis, que son los semáforos; que en la actualidad no todos funcionan de manera correcta, ni están en óptimas condiciones, por lo que en las intersecciones de vías primarias y secundarias se ve muy afectado el flujo vehicular y se generan los tiempos tan altos registrados de demora y de recorrido. Esto aunado al número reducido de carriles, con transporte público realizando maniobras de ascenso y descenso de pasajeros, con camiones que se detienen a hacer maniobras de carga y descarga de mercancías, y con peatones que cruzan las calles cuando ya no tienen la indicación de paso por los semáforos peatonales, generando frenadas bruscas (Valle, 2001).

Las demoras generan emociones negativas en los conductores, provocando estrés, problemas de salud y un comportamiento agresivo de manejo, donde los conductores rompen las normas del reglamento de tránsito; se crea más contaminación y ruido por los motores de los vehículos y camiones pesados y del sonido de tocar repetidas veces el claxon, creyendo que al hacer eso el semáforo va a cambiar más rápido a la luz verde (Jiménez, 2022).

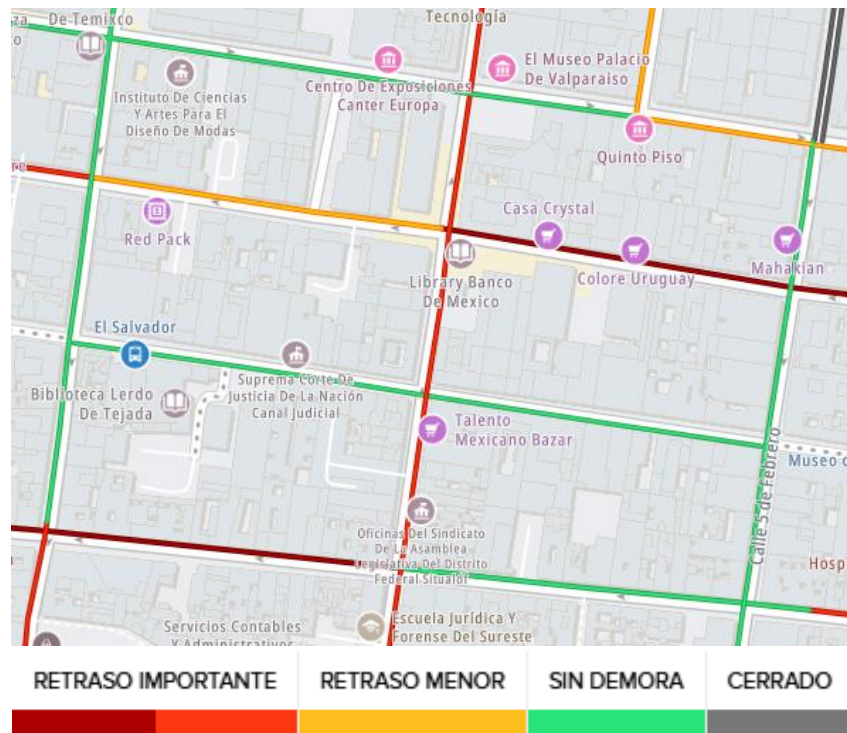
El índice TomTom Traffic realiza un conteo evaluando la congestión de 387 ciudades alrededor del mundo, considerando factores como el tiempo promedio de viajes, los gastos en combustible y las emisiones de CO₂ de manera anual. En este ranking, la Ciudad de México ocupa el puesto número 1 a nivel mundial. Los habitantes de la Ciudad de México pierden aproximadamente seis días y ocho horas al año en el tráfico (152 horas), generando anualmente 983 kilos de CO₂. La pérdida de gasolina anual, es equivalente a llenar el tanque ocho veces. Un recorrido de 10 km, que debería hacerse en 14 minutos, toma el doble de tiempo (UNAM Global, 2024).

De acuerdo a datos de TomTom, el tiempo adicional que pasa un automovilista durante la hora pico en la Ciudad de México por la mañana es de aproximadamente 16 minutos adicionales a lo que en promedio hace una persona por traslado por cada 10 kilómetros de viaje. Por la tarde, se registra un tiempo adicional de 19 minutos, lo que equivale a conducir 132 horas adicionales en los recorridos, es decir, cinco días con 12 horas en un año (TELEDIARIO, 2023).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

El costo de conducir en hora pico, con datos de TomTom en la Ciudad de México, para un recorrido de 10 km, en promedio al año por vehículo, son 263 h considerando 152 h por congestión; generando 983 kg de CO₂ considerando 297 kg debido a la congestión; con un costo de \$9662.00 MX en gasto de combustible considerando \$2919.00 MX por congestión (TomTom, 2024); en la Figura 2.3 se muestra las demoras en la zona de estudio, de acuerdo a datos de TomTom Traffic.

Figura 2.3. Tráfico en la zona de estudio.



Fuente: tomtom.com

Por estas razones es necesario modificar el funcionamiento de los semáforos actuales, no sólo en la Alcaldía Cuauhtémoc, si no, en la Ciudad de México para que mejoren los flujos vehiculares. Ya que el objetivo de este trabajo es el análisis operativo de una sección del corredor de Isabel la Católica, la cual se eligió por estar localizada en la zona centro de la CDMX, en donde se requieren de manera constante ajustes en la forma de operar las vías por ser la zona con mayor demanda de viajes (EOD, 2017), además de todas las condiciones externas a las que se encuentra sometida (marchas, cierres viales, ambulante, entre otros).

También, en este trabajo se buscó comparar el cálculo de las medidas operativas de efectividad utilizando diferentes modelos de la Teoría del Flujo del Tráfico, que permiten contar con un documento en el que se aplican los conocimientos adquiridos en la formación como Ingeniero en Sistemas de Transporte Urbano.

Este panorama permite plantear los siguientes objetivos de esta tesis.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

2.2 Objetivos generales y específicos.

2.2.1 Objetivos generales.

Definir las necesidades de adecuación vial para dar mayor fluidez al tránsito que circula en el corredor de Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza, en la CDMX.

Precisar un conjunto de acciones que permitan mejorar las condiciones del tránsito vehicular y peatonal en los tramos de vialidad considerados, atendiendo aspectos físicos y operativos de la vialidad.

2.2.2 Objetivos específicos.

Elaborar un diagnóstico de las condiciones físicas actuales de las vialidades consideradas para identificar las áreas de mejora.

Determinar los ciclos óptimos de operación para la zona de estudio que permitan mejorar las condiciones de los flujos viales en la arteria semaforizada.

Calcular la medida operativa de efectividad de cada intersección para comparar las condiciones en cada caso y poder establecer las mejores condiciones de funcionamiento de la arteria.

Realizar una simulación en software especializado de tránsito Synchro de escenarios de solución para identificar el que logre mejorar la operación vial.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

3 Marco Teórico.

A continuación, se describen los aspectos conceptuales que serán utilizados en este documento.

3.1 Definición de Ingeniería de Tránsito.

La ingeniería de tránsito o ingeniería de tráfico, conceptualizada como “la fase de la Ingeniería de Transporte que se ocupa de la planificación, diseño geométrico, y las operaciones de tráfico en calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras colindantes, y las relaciones con otros modos de transporte” (Quintero, 2017, p. 59).

3.1.1 Aforo de tránsito.

González et al. (2001, p. 26). “El aforo manual es un método para obtener datos de volúmenes de tránsito, a través del uso de personal de campo conocidos como aforadores de tránsito. Este método es el más común, se puede obtener información detallada de:

- Clasificación vehicular (camiones por tamaño, peso, número de ejes; autobuses, automóviles, motocicletas, bicicletas).
- Movimientos direccionales en una intersección o una entrada.
- Dirección del recorrido.
- Uso por carril y/o longitud de colas.
- Número de pasajeros por vehículo.
- Obediencia a los dispositivos para el control de tránsito”.

Los aforos se realizan en periodos de 15 minutos, por un tiempo determinado, que para este estudio fue de 1 hora (considerando la hora de máxima demanda), tomando en cuenta la siguiente clasificación:

- A: Automóviles y motos.
- B: Autobuses.
- C: Camión de Carga.
- P: Peatones.
- b: Bicicletas.

3.1.2 Definiciones: vía primaria y vía secundaria.

De acuerdo al Reglamento de Tránsito de la Ciudad de México (2023, p. 8) se indica lo siguiente:

“Vía primaria: espacio físico cuya función es facilitar el flujo del tránsito vehicular continuo o controlado por semáforo, entre distintas zonas de la Ciudad, las cuales pueden contar con carriles exclusivos para la circulación de bicicletas y/o transporte público.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Vía secundaria: espacio físico cuya función es permitir el acceso a los predios y facultar el flujo del tránsito vehicular no continuo; en su mayoría conectan con vías primarias y sus intersecciones pueden estar controladas por semáforos.”

3.1.3 Intersección.

Una intersección es definida como la unión o cruce de diferentes movimientos direccionales vehiculares en un mismo nivel (AASHTO, 2001), para hacer posible el cambio de dirección en el trayecto de los vehículos. El número de semáforos en una intersección semaforizada va a depender del número de accesos.

Tipos de intersecciones:

- Intersección en T
- Intersección en cruz
- Intersección en Y
- Intersección en Glorieta

3.1.4 Dispositivos de control de tránsito.

Se denominan dispositivos para el control del tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas (Cal & Mayor, 2018, p. 139-140).

El objetivo de los dispositivos de control de tránsito es asignar a los conductores el derecho de paso de manera alternada para garantizar la seguridad de la vialidad permitiendo el movimiento ordenado de todo el tránsito sobre la carpeta de rodamiento. Esto puede lograrse usando semáforos, señalización horizontal y vertical para que regulen, y adviertan al tránsito en todo momento; en la Tabla 3.1 se muestra la clasificación de los dispositivos de control del tránsito.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 3.1. *Clasificación de los dispositivos de control del tránsito.*

Señales verticales	Señales horizontales	Semáforos	Dispositivos de seguridad
Preventivas	Rayas	Semáforos no accionados por el tránsito (de tiempo fijo)	Barreras de protección
Restrictivas	Marcas	Semáforos accionados por el tránsito	Alertadores de salida de la vialidad
Informativas	Botones	Semáforos para pasos peatonales.	Amortiguadores de impacto
Turísticas y de servicios		Semáforos especiales	

Fuente: Cal & Mayor, 2018.

3.1.5 *Semáforos.*

Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos proyectados específicamente para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptados, como lo son el verde, el amarillo y el rojo. Su finalidad es la de permitir el paso, alternadamente a las corrientes de tránsito que se cruzan permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible (Cal & Mayor, 2018, p. 496).

El número de semáforos en una intersección semaforizada va a depender del número de accesos. Los semáforos pueden ser de tipo poste, ménsula o puente (el tipo puente ayuda a que el usuario tenga más información).

Términos para una mejor comprensión de semaforización, definidos por Cal y Mayor, 2018, p. 507-508:

- Indicación de señal: es el encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo
- Ciclo o longitud de ciclo: tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa. En otras palabras, es el tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo. Para varias fases, el tiempo de ciclo es el tiempo que requiere para que cada una de las fases cumpla su tiempo, hasta que la primera fase vuelva a iniciar con el tiempo de verde. El tiempo de ciclo máximo que sugiere el manual de capacidad de carreteras es de 120 segundos (2 minutos).
- Movimiento: maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.
- Intervalo: cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo. (puede ser el tiempo de verde, el tiempo de ámbar, el tiempo de rojo, o incluso el tiempo de todo rojo).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Fase: parte del ciclo asignada a cualquier combinación de un o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos. Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación ámbar.
- Secuencia de fases: orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.
- Reparto: porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases. (se obtiene dividiendo el tiempo que se tiene de verde entre el tiempo de ciclo).
- Intervalo de despeje: tiempo de exposición de la indicación ámbar del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.
- Intervalo todo rojo: tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del ámbar de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes de que los vehículos que lo ganan, reciban el verde. Se aplica sobre todo en aquellas intersecciones que sean excesivamente anchas. También puede ser utilizado para crear una fase exclusiva para peatones.
- Intervalo de cambio de fase: intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio ámbar o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.

Los semáforos se clasifican en tres tipos dependiendo el tipo de flujo vehicular que se presente, definidos por Cal y Mayor, 2018, p. 500-501:

- Semáforos de tiempo fijo.

Se utilizan en intersecciones donde los patrones de tránsito son relativamente estables, o en las que las variaciones de intensidad de la circulación se pueden adaptar a un programa previsto, sin ocasionar demoras o congestionamientos excesivos.

- Semáforos semi accionados por el tránsito.

Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos de la intersección, pero no en todos. El derecho de paso corresponde usualmente a la arteria principal y es transferido a la calle transversal de acuerdo a la demanda. En este caso se requieren sensores en la arteria principal, para que, al llegar un vehículo, se le permita el paso como prioridad. También se pueden hacer programaciones para la hora de máxima demanda (HMD) y para la hora valle (HV).

- Semáforo accionado por el tránsito.

Se usan en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular, y en donde las interrupciones de la circulación deben ser mínimas en la dirección principal. Los semáforos totalmente accionados, disponen de medios para ser accionados por el tránsito en todos los

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

accesos de la intersección. La duración de los ciclos responde, en general, a las variaciones en la demanda de tránsito vehicular. En este caso se requiere sensores en todos los accesos, y el primer vehículo que llegue será el primero en ser atendido (se le dará el paso).

3.1.6 Señalización horizontal.

El señalamiento horizontal es el conjunto de marcas y dispositivos que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas. Sirve también para denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios. Estas marcas y dispositivos son: rayas, símbolos, leyendas, botones, botones reflejantes, boyas y delimitadores (SCT, 2014, p. 3).

3.1.7 Señalización vertical.

El señalamiento vertical es el conjunto de señales en tableros con leyendas y pictogramas fijados en postes, marcos y otras estructuras. Según su propósito estas señales se clasifican en: señales restrictivas, señales preventivas, señales informativas, señales turísticas y de servicios y señales de mensaje cambiante (SCT, 2014, p. 3).

3.1.8 Método de Webster.

El método de Webster es universalmente aceptado precisamente por suministrar ciclos óptimos del que resultan demoras mínimas y por tanto buenos niveles de servicio, siendo el método que adoptan la mayoría del software de diseño, pero al resultar ciclos de corta duración, en muchas ocasiones se obtiene una relación volumen/capacidad (v/c) superior a los eficientes por encima de 0.85, lo que pudiera ocasionar colas por llegadas aleatorias. Este método se basa en observaciones de campo y simulación de un amplio rango de condiciones de tránsito, demostrándose que la demora mínima de todos los vehículos en la intersección se puede obtener para una longitud de ciclo óptimo (Alba, M. & Hernández, O. 2013, p. 42-43).

La función de demora de Webster posee demoras por controles semaforizados. Se compone del tiempo de viaje a flujo libre adicionada con el componente de demora uniforme de Webster, en s/veh . Una vez que la demora uniforme se ha convertido en una constante al tiempo de viaje se le agrega la demora por sobre flujo (González, H. 2012, p. 35).

3.1.9 Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) (versión 2000).

El Manual de Capacidad de Carreteras es una publicación de Transportation Research Board (TRB) en los Estados Unidos. Contiene conceptos, directrices y procedimientos de cálculo para la capacidad y nivel de servicio en las carreteras. El manual tiene como intención proveer una base sistemática y congruente para el establecimiento de los valores estimados de la Capacidad y los Niveles de Servicio del sistema de transporte terrestre.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Dichos parámetros y métodos han sido establecidos a partir de una amplia gama de estudios e investigaciones llevados a cabo durante los últimos cincuenta años en los que se reflejan condiciones promedio de circulación en los EE. UU. De manera que al hacer uso del HCM 2000 debe tenerse en cuenta que la mayoría de los datos de investigación provienen particularmente de valores por defecto y aplicaciones para los EE.UU.

Con base en los métodos presentados en el Manual de Capacidad de Carreteras se requiere destacar la calibración de las ecuaciones, respecto a las condiciones locales, se consideran las diferencias más importantes de las condiciones del tránsito, condiciones geométricas y de los dispositivos de control.

Paralelamente a la preparación del HCM se han ido elaborando programas informáticos que realizan automáticamente los procedimientos que se van plasmando en el HCM. Estos programas proceden de distintas fuentes, pero los más populares son los llamados HCS (“Highway Capacity Software”) que difunde el Centro McTrans de la Universidad de Florida en los Estados Unidos, Synchro Traffic de Cubic Transportation Systems, PTV VISSIM de PTV Group.

Los programas HCS replican fielmente los procedimientos del HCM en el computador y resuelven los problemas en una pequeña fracción del tiempo que requiere su solución manual utilizando los formatos y tablas del HCM.

Sin embargo, cualquier programa HCS que resuelve de manera mecánica un problema de tránsito, no permite a quien lo use comprender los procesos de automatización del mismo, por lo que es de suma importancia dominar los métodos manuales antes de utilizar los métodos computarizados.

La aplicación del HCM contempla tres niveles de aplicación:

Análisis de circulación: es la aplicación que requiere mayor precisión y se basa en datos actuales sobre tránsito, vía y regulación. Se deben conocer las condiciones presentes en la vía, para poder extrapolar valores del parámetro que se han medido. También se puede medir una variable a lo largo de una vía con un vehículo en movimiento, tal como la velocidad a flujo libre, y utilizar el manual para inferir el nivel de servicio a partir de esa información y de otros datos aislados que se tengan.

Diseño o proyecto: cuando se diseña una vía, o elementos permanentes de ella que requieran grandes inversiones, se debe garantizar que su utilidad vaya a durar bastante tiempo. Entonces es preciso predecir cuál va a ser la demanda de tránsito en el año para el que se proyecta a fin de satisfacer esa demanda razonablemente.

Planeación: esta aplicación se hace generalmente cuando se empieza a planear una vía o un sistema vial y todavía no se conocen con exactitud todos los detalles necesarios. El manual norteamericano proporciona procedimientos de planeación que son menos complicados que los que se aplican para diseño o análisis de circulación, a fin de evitar el uso de refinamientos innecesarios en trabajos de planeamiento preliminar (Llanes Ayala, J. M. 2016).

3.2 Revisión de literatura.

Para este trabajo se realizó una investigación con diferentes fuentes de información, como tesis de licenciatura e ingeniería (17), artículos científicos (1), documentos (1) y libros (1) que se relacionan con el análisis de corredores semaforizados, en donde se encontraron veinte documentos. Los niveles académicos de estos documentos son 14 de licenciatura, 3 de maestría y 3 de doctorado. Del análisis de esta información se identificaron dos temas que son:

- 1) Sincronización semafórica (11 documentos).
- 2) Capacidad y Nivel de Servicio (9 documentos).

Para el tema uno se tienen once documentos (se indica con número romano su ubicación en las referencias utilizadas), donde:

I Cortés (2016), analiza la mejora de la circulación y la reducción de la congestión vehicular en Calzada de Tlalpan y Renato Leduc con la lateral de Periférico, logrando la reducción de los tiempos de demoras a través de sincronización semafórica.

II Ortiz (2010), indica una metodología de calibración para modelos macroscópicos en un a vía interurbana NQS con Calle 48 en Bogotá, reduciendo la diferencia entre resultados de simulación y resultados de datos de campo.

IV Peña (2016), indica una propuesta de cambios en los desfases de los ciclos semafóricos para optimizar los tiempos de recorrido sobre Av. Miguel Ángel de Quevedo, coordinando los semáforos y mejorando las condiciones del servicio.

V Órdenes (2017), analiza una optimización de programación semafórica y ahorro en tiempo de demoras, basado en la tasa de ocupación de buses y automóviles, en el cruce de Blanco Encalada con Beauchef, obteniendo una mejora de la optimización de semáforos prefijados.

VI Correal (2012), propone un modelo de simulación con Vissim, para mejorar los tiempos de recorrido a partir de la semaforización actuada, logrando reducir el tiempo de recorrido un 26% y también las emisiones contaminantes.

VII Alba (2020), analiza la simulación microscópica de la arteria 5ta Avenida en la Habana, Cuba, indicando diferencias en las llegadas de los vehículos en la simulación con CORSIM y Transyt-7F.

XII Silvera (2020), evalúa el comportamiento arterial de una red de cinco intersecciones, a través de los resultados de las demoras, indicando que los softwares presentan diferencias en los resultados de los análisis.

XIII Abanto (2020), analiza los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares y peatonales, en la plazuela Bolognesi en Cajamarca, usando el método manual para compararlo con software.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

XV Huamani (2021), analiza el tráfico urbano en 3 avenidas principales, con 7 vías alternas, modificando los tiempos semafóricos, logrando reducir la longitud de colas y los tiempos de demoras.

XVIII Quispe (2019), analiza la semaforización en Av. 6 de marzo entre Calles 7 y 13, en Bolivia, proponiendo soluciones de optimización semafórica, reduciendo las demoras un 10%.

IXX Rodoño (2018), analiza las intersecciones entre las avenidas Luzuriaga y San Martín con la av. Raymondi – Huaraz, en Perú, indicando que el nivel de servicio se mantiene y los tiempos de demora son uniformes.

Para el tema dos se tienen nueve documentos, donde:

III Baeza (2012), analiza la operación de las intersecciones semaforizadas y su adecuación geométrica, en Cerro de agua/Ingeniería, CDMX, haciendo un mejoramiento del nivel de servicio.

VIII Álvarez (2014), propone un ajuste de parámetros de modelación para Transyt-7f y CORSIM, analizando el corredor arterial de US -1 entre SW 136th Street y SW 98th Street en Miami, Florida, indicando diferencias en las llegadas de los vehículos.

IX Muñoz (2001), propone escenarios de mejoramiento para la capacidad y nivel de servicio de las avenidas Taxqueña y Canal de Miramontes, CDMX, mejorando el nivel de servicio F actual.

X Álvarez (2000), analiza el funcionamiento del corredor semaforizado en el tramo de Camino Sta. Teresa y Viaducto Tlalpan, sobre Insurgentes Sur, CDMX, reduciendo los tiempos de demora con actualización del sistema semafórico.

XI Sánchez (2009), propone la modificación de los tiempos de ciclo semafórico en las colonias Balcones del Campestre, Portones del campestre y El Molino en la ciudad de León, Guanajuato, consiguiendo el mejoramiento del nivel de servicio.

XIV Salazar (2018), analizó la intersección entre Av. Brasil y Jr. General Borgoño en Lima, Perú, reduciendo un 65.2% el tiempo de demora y un 48.6% la longitud de cola, usando software Vissim 8.

XVI Arteaga (2018), realiza propuestas de mejora en el cruce de la calle Alfonso Rivera, calle Lima y calle Huancavelica, en Perú, logrando la mejora del nivel de servicio aumentando un carril.

XVII Huaranga (2021), propone la reducción de tiempos de viaje a través de la gestión de la infraestructura vial en la av. 28 de Julio entre el ovalo Jorge Chávez y la av. Arequipa en el distrito de Lima, Perú, consiguiendo la reducción del tiempo de viaje y mejorando el nivel de servicio de "F" a "E".

XX Osos (2016), evalúa el nivel de servicio en la intersección de Mariscal Castilla y Julio Sumar El Tambo, en Perú, son el software Synchro 8, logrando la mejora de nivel de servicio, pasando de un nivel de servicio "F" a un nivel de servicio "D".

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

De esta revisión se observa que no existe un trabajo sobre sincronización semafórica en el área de estudio propuesta para esta tesis, sin embargo, sí hay trabajos relacionados con el análisis semafórica utilizando software especializado en diferentes vialidades.

3.3 Estado del arte del software para análisis semafórico.

En la ingeniería de transporte, para poder optimizar el flujo vehicular y lograr reducción en los tiempos de demoras en cualquier intersección que se vaya a analizar, la micro simulación y la coordinación semafórica son herramientas indispensables, ya que, facilitan la evaluación de estrategias para mejorar el nivel de servicio y así poder superar los desafíos de movilidad. En los siguientes párrafos se describen brevemente algunos programas especializados para este trabajo.

3.3.1 INRIX Signal Analytics.

INRIX Signal Analytics, fundado en 2004, es la primera aplicación basada en la nube que utiliza big data de coches conectados para ayudar a los profesionales del tráfico a identificar y comprender los retrasos innecesarios en las intersecciones señalizadas de toda la zona, sin necesidad de hardware ni trabajo de campo.

Signal Analytics crea una infraestructura virtual mediante la recopilación continua de datos de automóviles conectados en toda la red y proporciona métricas precisas para cada movimiento y cada intersección a una fracción del costo de las soluciones basadas en hardware. Signal Analytics proporciona resúmenes funcionales, informes diarios detallados y visualizaciones de datos con solo hacer clic en un botón para que pueda tomar medidas de inmediato.

Identificación rápida de los problemas de rendimiento con métricas detalladas como: Llegada al verde, movimiento de giro, tiempo de viaje, demoras. Gestiona de forma proactiva la señal y el corredor con herramientas intuitivas. Realice análisis de intersección de nivel profundo con herramientas avanzadas de CATT Lab (EE. UU. Sólo.) (INRIX, 2024).

3.3.2 SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System).

Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS) es un sistema inteligente de gestión de tráfico en tiempo real que monitorea, controla y optimiza el movimiento de personas y mercancías en las ciudades. Tiene las siguientes características:

- Reducción de Tiempos de Viaje: SCATS puede reducir el tiempo de viaje hasta en un 28% y las paradas en un 25%.
- Reducción de Emisiones: Ayuda a disminuir el consumo de combustible en un 12% y las emisiones en un 15%.
- Implementación Global: SCATS está instalado en más de 60,000 intersecciones en 200 ciudades y 30 países.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Adaptabilidad: Es un sistema altamente configurable que se puede personalizar para satisfacer las necesidades de gestión de tráfico de cualquier ciudad.
- Innovación Continua: SCATS se mantiene a la vanguardia de la tecnología de sistemas de transporte inteligente (ITS) mediante la innovación continua.

SCATS utiliza datos en tiempo real y algoritmos avanzados para tomar decisiones inteligentes que se adaptan a las condiciones cambiantes del tráfico, asegurando viajes más seguros y eficientes. (SCATS, 2022).

3.3.3 QUADSTONE PARAMICS.

Software de simulación microscópica de tráfico y peatones utilizado por profesionales de la planificación para diseñar una infraestructura de transporte eficiente, económica y amigable para el conductor y los peatones, lo que permite la evaluación operativa de las condiciones del tráfico del año actual y futuro, informes detallados de las principales MOE.

El software es totalmente escalable y está diseñado para manejar escenarios tan amplios como una sola intersección hasta una autopista congestionada o el modelado del sistema de tráfico de toda una ciudad. El software permite a los usuarios evaluar la eficacia de los planes de mejora de las carreteras destacando el cambio en el comportamiento del patrón de viaje y proporcionando medidas de mitigación. Esto constituye la base de la mayoría de las evaluaciones económicas, los estudios de evaluación, las iniciativas de transporte y la gestión de la demanda de viajes. (QUADSTONE PARAMICS, 2024).

3.3.4 TransCAD.

TransCAD es el software de modelación de demanda de viajes más completo, flexible y capaz que existe en el mercado. TransCAD soporta todas las formas de modelación de demanda de viajes, incluyendo diferentes herramientas de planificación, modelos de demanda de cuatro pasos, de generación por actividades y otras técnicas avanzadas de modelos desagregados. Incluye el conjunto más extenso de modelos de asignación de tráfico disponibles para ser utilizados por planificadores e Ingenieros de tráfico.

TransCAD es el único paquete diseñado específicamente para facilitar la aplicación de los mejores procedimientos disponibles para el pronóstico de viajes y provee mecanismos de avanzada en la modelación de transporte. La modelación con TransCAD no está limitada a pronosticar la demanda urbana o regional, también es aplicable para modelar los flujos de pasajeros y carga a nivel departamental, nacional e internacional.

TransCAD es la única herramienta de modelación que está basada en un Sistema de Información geográfica (SIG) integrado totalmente con las capacidades de modelación de la demanda. El SIG es extremadamente capaz y robusto, e incluye muchas características avanzadas específicas para el transporte que no están disponibles en otros SIG de uso general.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Debido a que tienen arquitecturas similares, TransCAD es el paquete de planificación que mejor se integra con otros sistemas geográficos de software. TransCAD provee soporte nativo para, Esri Geodatabases, Access, Excel, Oracle, SQL Server y Google Earth y puede intercambiar datos con prácticamente todos los SIG, CAD y paquetes de software de planificación (Caliper, 2024).

3.3.5 SIDRA.

El software SIDRA INTERSECTION es una herramienta de modelización del tráfico utilizada en el ámbito de la planificación, gestión, diseño y operaciones del tráfico y el transporte. Utiliza un enfoque analítico para modelar intersecciones, intercambiadores, calles y redes. Las aplicaciones incluyen el análisis del impacto del tráfico, el diseño geométrico de las rotondas, el funcionamiento eficiente de los sistemas de control de señales de tráfico y el desarrollo de soluciones equilibradas de movimiento y lugar.

SIDRA INTERSECTION proporciona un valor único a la planificación del transporte y la toma de decisiones de ingeniería de tráfico a través de soluciones equilibradas que tienen en cuenta las necesidades conflictivas de todos los usuarios del transporte, incluidos peatones, ciclistas, autobuses, tranvías / trenes ligeros, automóviles y vehículos de carga. Esto proporciona un importante ahorro de costes y beneficios medioambientales.

SIDRA INTERSECTION es un paquete de análisis de intersección única, puede realizar análisis de señales de tráfico como una intersección aislada (predeterminada) o como una intersección coordinada especificando datos de llegada del pelotón.

Los modelos se pueden calibrar para las condiciones locales. El software pone a disposición diversas instalaciones: la versión US HCM de SIDRA INTERSECTION se basa en la calibración de parámetros del modelo con el Highway Capacity Manual de EE. UU (Akcelik & Associates, 2024).

3.3.6 AIMSUN.

Aimsun es un líder internacional en soluciones digitales de movilidad. Las agencias de transporte y las autoridades viales utilizan la simulación y el análisis predictivo de datos de Aimsun para comprender el rendimiento de la red de transporte, predecir su evolución y apoyar la toma de decisiones.

Ya sea que el alcance del proyecto sea la creación de sistemas de planificación regional basados en la nube, el apoyo a la gestión del tráfico en tiempo real o la simulación del impacto de los coches sin conductor, Aimsun trabaja en la frontera de las nuevas tecnologías para optimizar la movilidad inteligente y sostenible.

Aimsun es parte de Yunex Traffic Group, un líder global en sistemas inteligentes de transporte, que ofrece soluciones para el control y gestión del tráfico adaptativo, automatización de autopistas y túneles, V2X y peaje. La simulación predictiva de Aimsun completa el catálogo de Yunex Traffic y fortalece la presencia del grupo en el sector de los sistemas inteligentes de transporte; en particular, el soporte de decisiones para la gestión integrada de corredores y la simulación para la optimización de señales.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Yunex Traffic es una empresa gestionada por separado grupo de inversiones estratégicas Mundys y complementa su cartera de activos de concesiones de infraestructuras de transporte y plataformas de servicios digitales (Aimsun, 2024).

3.3.7 ANYLOGIC.

AnyLogic es el único software de modelado de simulación para propósito general que permite múltiples métodos. AnyLogic PLE es una herramienta de simulación gratuita para fines educativos y de autoeducación. Académicos, estudiantes y especialistas de la industria de todo el mundo utilizan este software de simulación gratuito para aprender, enseñar, y explorar el mundo de la simulación (AnyLogic, 2024).

El software de simulación AnyLogic se utiliza en estas industrias:

- Cadenas de suministro.
- Fabricación.
- Transporte.
- Operaciones de almacén.
- Logística Ferroviaria.
- Minería.
- Petróleo y gas.
- Puertos y terminales.

El modelado de simulación de AnyLogic proporciona una biblioteca de tráfico vial, lo que permite la simulación del flujo de tráfico con el poder de ofrecer la ingeniería y el diseño de tráfico vial más eficientes. Las visualizaciones claras ayudan rápidamente al desarrollo, con mapas de densidad que resaltan la congestión y animaciones que demuestran el flujo de tráfico y los cuellos de botella. La libertad de experimentar y la capacidad de optimizar modelos precisos con software de simulación de tráfico proporcionan la mejor plataforma para el éxito en la planificación e ingeniería del tráfico rodado. AnyLogic se utiliza para:

- La planificación del tráfico, la simulación de cambios, adiciones o sustracciones en una red de carreteras.
- Análisis de rendimiento, incluida la generación de estadísticas de congestión y atascos de tráfico.
- Sincronización y secuenciación de semáforos para desarrollar la optimización de todo el sistema.
- La integración de los objetos y edificios públicos en las redes viarias, la evaluación del impacto del tráfico.

3.3.8 Software HCS (versión 2000).

El Software de Capacidad de Autopista implementa fielmente los métodos y procedimientos documentados en el Manual de Capacidad de Autopistas (HCM). Puede realizar análisis de nivel de planificación y operación para calles de superficie, incluidas intersecciones, autopistas, arterias, etc.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

El HCM utiliza un enfoque macroscópico para modelar el tráfico en las calles de superficie. Como tal, el uso de HCS requiere que se recopilen relativamente menos entradas y tiempo para dedicar a modelar y calibrar las instalaciones. Esta capacidad aporta un aspecto económico para que los usuarios modelen el tráfico y predigan una variedad de medidas de rendimiento para alternativas definidas (McTrans Center, 2024).

3.3.9 *Synchro Studio.*

Los softwares de simulación vehicular, sirven para mejorar las condiciones de operación y de nivel de servicio en intersecciones que presentan problemas de congestión y tiempos de demora elevados. Para este trabajo se va a utilizar el software Synchro, que permitirá la modelación y optimización de la intersección siguiendo la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras del 2000 (TRB, 2000).

Existen 3 tipos diferentes de simulación: simulación microscópica, simulación mesoscópica y simulación macroscópica.

Simulación Microscópica: Es aquella que nos permite analizar a detalle el comportamiento vehicular como partícula para poder describir su funcionamiento en un entorno de mayor alcance. Para poder aplicar nuevas formas de operación con los semáforos, ante las diferentes maniobras de los vehículos.

Simulación Macroscópica: En este modelo se analiza el flujo del tránsito completo, considerando las variables elementales del flujo vehicular que son: volumen, velocidad y densidad; para cambios del tránsito.

Simulación Mesoscópica: Este análisis junta aspectos del microscópico y macroscópico, pudiendo hacer análisis por pelotones de vehículos o bien individualmente, donde cada vehículo presenta características similares.

Análisis de capacidad

Synchro implementa el método de Utilización de la Capacidad de la Intersección (ICU) 2003 para determinar la capacidad de la intersección. Este método compara el volumen actual con la capacidad última de la intersección. Este método es muy sencillo de implementar y se puede completar usando una hoja de trabajo de una sola página.

Synchro también proporciona una solución fácil de usar para el análisis de capacidad y la optimización del tiempo. Todos los valores se ingresan en formularios fáciles de usar. Los cálculos y resultados intermedios se muestran en los mismos formularios. El método de retraso percentil de Synchro incluye un componente de retraso adicional relacionado con el derrame de intersecciones adyacentes. El Retraso Total incluye el retraso de control tradicional más el retraso de la cola. Dado que los cálculos de demora son una parte integral del objetivo de optimización, también se considera la demora en la cola.

Synchro también implementa los métodos de los Manuales de capacidad de carreteras de 2000, 2010 y 6.ª edición.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Coordinar y optimizar

Synchro permite la generación rápida de planes de tiempo óptimos. Synchro optimiza la duración del ciclo, los tiempos parciales, las compensaciones y la secuencia de fases para minimizar las paradas y los retrasos del conductor. Synchro es completamente interactivo. Cuando se cambian los valores de entrada, los resultados se actualizan automáticamente. Los planes de tiempo se muestran en diagramas de tiempo fáciles de comprender.

Los usuarios también tienen la capacidad de revisar una variedad de medidas detalladas de efectividad (MOES) calculadas durante el proceso de optimización. Los factores de ponderación también se pueden utilizar para asignar más tiempo verde a una fase individual o grupo de fases (Trafficware, 2022).

3.3.10 PTV VISSIM.

Vissim es un modelo de simulación microscópico basado en pasos de tiempo y comportamiento para modelar realísticamente el tráfico urbano e interurbano, incluidos los movimientos de peatones. Puede modelar el transporte público (PT) tanto privado como ferroviario y por carretera.

El flujo de tráfico se simula en función de diferentes parámetros, como la asignación de carriles, la composición de los vehículos, el control de señales y la detección de vehículos de transporte público y privado. PTV Vissim le ayuda a superar una amplia variedad de desafíos relacionados con el tráfico. Los siguientes casos de uso cubren varios campos de aplicaciones:

- Comparación del diseño de cruces (rotonda versus control de señales, multimodal, etc.)
- Planificación del desarrollo del transporte (gestión de obras viales, evacuación de edificios, etc.)
- Análisis de capacidad (aumento de la demanda, rotonda con flujo de peatones, etc.)
- Gestión activa del tráfico (VMS, uso temporal del arcén, etc.)
- Simulación de transporte público (Priorización, estaciones de ferrocarril, etc.).

Se requieren mapas digitales, imágenes aéreas o planos del sitio escaneados para realizar un mapeo preciso de la red. Cada plano/mapa debe tener una escala y tener la dirección norte claramente marcada.

Datos de flujo de tráfico:

- Enrutamiento estático: movimientos de giro para cada cruce y flujos de entrada para cada enlace de entrada en Vissim. Los datos de flujo de entrada deben especificar vehículos por hora, incluso si se utilizan intervalos inferiores o superiores a 60 minutos.
- Asignación dinámica: matriz OD y ubicaciones de conectores de zona para toda el área de estudio.
- Los vehículos de transporte público deben excluirse de los datos anteriores ya que deben modelarse por separado (ver más abajo).
- Combinación de vehículos para cada flujo de entrada (por ejemplo, proporción de vehículos pesados).
- Longitudes de vehículos (por separado para cada tipo de vehículo).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Distribuciones de velocidad deseadas (velocidad real de flujo libre de un vehículo en km/h) para todos los flujos de entrada y todos los cambios de velocidad dentro del área de estudio.

Controladores de señal (SC) para cada cruce señalizado:

- Tiempo del ciclo.
- Período ámbar y rojo-ámbar (por ejemplo, 3 s ámbar, 1 s rojo-ámbar).
- Tiempos de señal en forma de inicio y fin de la fase verde para cada grupo de señales. Para cada control de señal accionado por vehículo.
- Definiciones de etapas.
- Tiempos mínimos en verde y rojo.
- Diagrama de flujo de la lógica de control.
- Características técnicas especiales.

Datos de tránsito (transporte público, datos de red):

- Rutas de cada línea (autobús/tren).
- Longitud de los andenes de las paradas (si aún no están incluidos en los planos mencionados anteriormente).
- Distribución de velocidad deseada, especialmente en las curvas.

Servicio de información:

- Calendario para todo el período de simulación.
- Tiempos de intercambio de pasajeros en las paradas (mediana y desviación estándar o distribución empírica). Puede haber diferentes horarios para una misma parada para diferentes líneas y para la misma línea en diferentes paradas.
- Nivel de servicio de todas las líneas de transporte público (mediana y desviación estándar o distribución empírica).
- Requisitos especiales (por ejemplo, esperando conexiones).

Información del vehículo:

Idealmente, debería haber disponible un modelo 3D para cada tipo de vehículo adicional. De lo contrario, el vehículo se muestra en forma de paralelepípedo.

- Longitud del vehículo.
- Máxima aceleración y desaceleración.
- Para vehículos articulados de cada segmento:
 - Longitud del segmento.
 - Posición de eje delantero, eje trasero.
 - Articulación delantera, articulación trasera.
- Todas las puertas, incluidos sus anchos.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Si corresponde, ubicación del equipo de activación de detectores (del vehículo de transporte público) en relación con la parte delantera del vehículo (PTV Group, 2023).

En la Tabla 3.2, se muestra la comparación de los paquetes de cómputo mencionados con sus principales características, usos y aplicaciones.

Tabla 3.2. *Comparativa de los softwares investigados.*

Software	Ámbito de aplicación	Características principales	Condiciones de uso	Tipo de licencia
INRIX Signal Analytics	Análisis de señales semafóricas	Cálculo de demoras, nivel de servicio, llegada en verde, movimientos de giro, tiempo de viaje, análisis de intersección, métricas de corredor.	Identificar dónde las necesidades de reprogramación de señales son más urgentes. Clasificar intersecciones por su métrica de rendimiento elegida para priorizar proyectos de señales de tráfico de manera más efectiva. Cuantificar el impacto de las estrategias de gestión de señales de tráfico.	Prueba Gratuita de 14 días. Compra de licencia.
SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)	Gestión del tráfico en tiempo real	Reducción de Tiempos de Viaje.	SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)	Gestión del tráfico en tiempo real
QUADSTONE PARAMICS	Simulación microscópica de tráfico y peatones.	Personalización y tamaño de modelo. Análisis de autopistas. Análisis de arterias urbanas. Asignación del tráfico y decisiones de rutas. Análisis de transporte público. ITS.	Visualización dinámica y gráfica de las señales Torneado de LOS y MOE Tiempos de parada y número de paradas de vehículos	Versión demo. Compra de licencia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Software	Ámbito de aplicación	Características principales	Condiciones de uso	Tipo de licencia
		<p>Peatones. Reportes y análisis. Estimación de OD.</p>	<p>Utilización del tiempo verde Análisis de capacidad de intersección Análisis de colas Análisis de accidentes (SSAM).</p>	
TransCAD	Modelación de demanda	<p>Generación de viajes. Distribución de viajes. Análisis de selección modal. Asignación de tráfico. Transporte público. Matrices y procesamiento de redes. Análisis de viajes no motorizados. Aplicaciones para el transporte de carga.</p>	<p>Totalmente compatible con Windows. Incorpora una poderosa base de datos relacional. Edición destacada de gráficos. Procedimientos integrales de modelación. Integración con SIG.</p>	Compra de licencia.
SIDRA	Planificación y operación.	<p>Modelo micro analítico único basado en carriles. Cuenta con la configuración del Manual de Capacidad de Autopistas (HCM). Rutas definidas por el usuario para informes y pantallas de rendimiento. Todo tipo de sitios y configuración de red. Modelo de consumo de combustible y emisiones. Análisis de demanda</p>	<p>Obtener estimaciones de capacidad y características de funcionamiento tales como: como: Demoras Longitud de cola. Porcentaje de paradas. Consumo de combustible. Registro de emisiones. Costos de operación</p>	Compra de licencia.
AIMSUN	Modelado del tráfico y transporte público.	<p>Cambio interactivo de programa de señales. Accionamiento de pulsadores para peatones. Diferentes grupos de señales y actuaciones por tipo de peatón.</p>	<p>Funcionamiento de modelos multimodales a gran escala para ciudades, autopistas y regiones. Modelización de la demanda de viajes,</p>	<p>Comprar licencia. Versión gratuita de aprendizaje.</p>

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Software	Ámbito de aplicación	Características principales	Condiciones de uso	Tipo de licencia
		<p>Cálculo de las matrices de impedancia de flujo libre con el calculador del camino más corto.</p> <p>Histograma de la demanda de tráfico.</p> <p>Combinar los estados de tráfico de los vehículos con las matrices OD de los peatones.</p>	mejorando los modelos microscópicos y mesoscópicos de comportamiento.	
ANYLOGYC	Operación del tránsito.	<p>Estimación de la congestión del tráfico.</p> <p>Análisis de Intersecciones.</p> <p>Fases semafóricas.</p> <p>Optimización de fases.</p> <p>Sistemas de estacionamientos.</p> <p>Estaciones de autobús.</p> <p>Estudios de simulación peatonal.</p> <p>Red de carreteras.</p> <p>Análisis de rotondas.</p>	<p>Cadenas de suministro.</p> <p>Fabricación.</p> <p>Transporte.</p> <p>Operaciones de almacén.</p> <p>Logística Ferroviaria.</p> <p>Minería.</p> <p>Petróleo y gas.</p> <p>Puertos y terminales.</p>	<p>Comprar licencia.</p> <p>Versión gratuita de aprendizaje.</p>
HCS	Planificación y Operación.	<p>Segmentos básicos de autopista.</p> <p>Sistemas de trenzado.</p> <p>Sistemas de rampas.</p> <p>Carreteras de multicarril.</p> <p>Carreteras de dos carriles.</p> <p>Intersecciones sin semaforizar.</p> <p>Intersecciones semaforizadas.</p> <p>Análisis arterial.</p>	<p>Análisis de circulación.</p> <p>Diseño o proyecto.</p> <p>Planeación.</p>	<p>Comprar licencia.</p> <p>Versión libre (limitada).</p>
SYNCHRO	Operación del tránsito.	<p>Fácil entrada de datos.</p> <p>Optimización completa y flexible.</p> <p>Informes gráficos y diagramas espacio tiempo.</p> <p>Animación de simulación microscópica.</p> <p>Simulación de rotondas.</p>	<p>Análisis de capacidad.</p> <p>Coordinar y optimizar señalización semafórica.</p> <p>Análisis de cruces sin semaforizar y rotondas.</p>	<p>Comprar licencia.</p>
PTV VISSIM	Operación del tránsito y transporte público.	<p>Modelización de las emisiones del tráfico.</p> <p>Simulación microscópica, mesoscópica e híbrida.</p>	<p>Comparación del diseño de cruces.</p>	<p>Comprar licencia.</p>

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Software	Ámbito de aplicación	Características principales	Condiciones de uso	Tipo de licencia
		Control inteligente de transporte.	Planificación del desarrollo del transporte. Análisis de capacidad. Gestión activa del tráfico. Simulación de transporte público.	Versión libre (limitada).

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

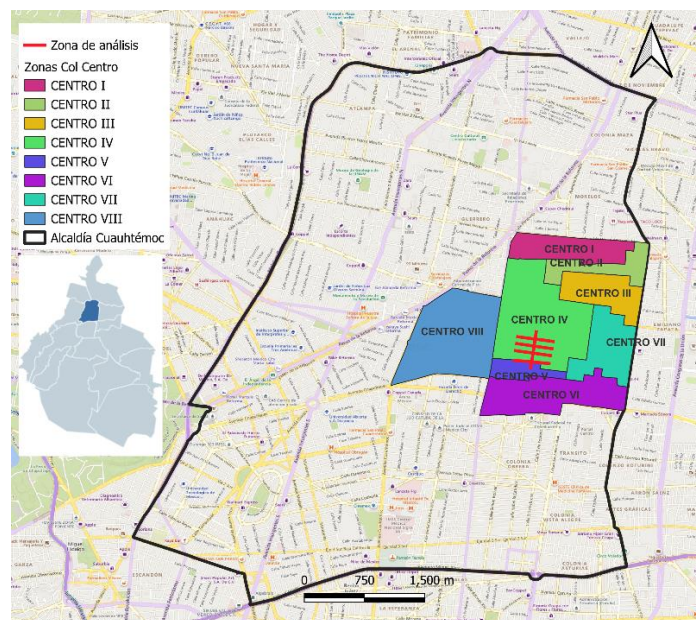
4 Diagnóstico de las condiciones actuales en la Arteria Semaforizada.

La colonia Centro forma parte de la Alcaldía Cuauhtémoc y está conformada por más de 600 calles. Cuenta con más de 1,500 edificios que resguardan edificios religiosos y civiles, hospitales, administrativos, educativos, culturales y de habitación; tiene 67 monumentos religiosos, 129 monumentos civiles, 743 edificios históricos, 6 templos modernos, 17 edificios ligados a hechos o personajes históricos, 78 plazas y jardines, 19 claustros, 26 fuentes o monumentos conmemorativos, 13 museos o galerías, 12 sitios o edificios con pintura mural todos ellos con una antigüedad que va del siglo XVI al XX. No por nada el Centro es catalogado como el más importante de América. (Mayo, R. 2017)

El Centro Histórico de la Ciudad de México mide 9.7 kilómetros cuadrados, es el más grande de América Latina, y su historia data del año 1325, cuando era un islote rodeado de lagos navegables, que eran las vías de comunicación de la época. El 11 de diciembre de 1987, el Centro Histórico de la Ciudad de México fue declarado por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad, ya que es considerado un legado de monumentos y sitios de una gran riqueza natural y cultural que pertenece a toda la humanidad (Gobierno CDMX, 2024).

La Colonia Centro, se divide en 8 zonas que son: Centro I, Centro II, Centro III, Centro IV, Centro V, Centro VI, Centro VII y Centro VIII; y a su vez, tiene colindancia al norte con la Colonia Morelos, al norponiente con la Colonia Guerrero, al Poniente con la colonia Tabacalera y Juárez, al sur con la Colonia Doctores y Obrera y al oriente colinda con la Alcaldía Venustiano Carranza (Datos abiertos CDMX, 2024). En la siguiente Figura 4.1 se muestran las zonas que componen la Colonia Centro y sus respectivas colindancias.

Figura 4.1. Zonas de la Colonia Centro.

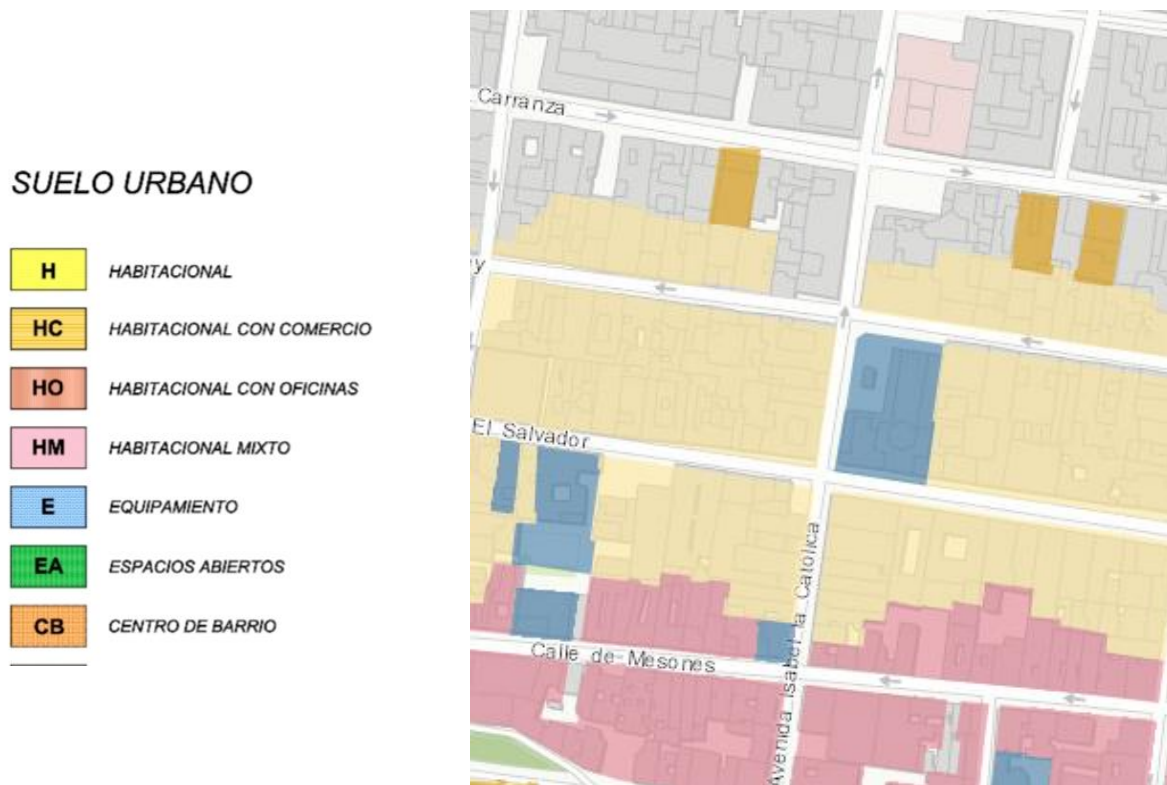


Fuente: Elaboración en QGIS con datos del Portal de datos abiertos de la CDMX (2024).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Los usos de suelo para la colonia Centro, en sus zonas IV y V, para la zona de estudio son variados, en donde se encuentran: habitacional, habitacional con comercio, habitacional con comercio en planta baja, habitacional mixto, equipamientos, conforme se muestra en la Figura 4.2.

Figura 4.2. Usos de suelo de la zona de estudio zona Centro IV y V.



Fuente: sig.cdmx.gob.mx

Esta zona de estudio corresponde a una arteria semaforizada sobre la calle Isabel la Católica integrada por cuatro intersecciones semaforizadas que recorren una longitud de 0.391 km: la primera intersección se ubica sobre Isabel la Católica y Mesones, la segunda intersección se encuentra en Isabel la Católica y República del Salvador, la tercera intersección es en Isabel la Católica y República de Uruguay, y la última intersección se encuentra en Isabel la Católica y Venustiano Carranza; como se puede apreciar en la Figura 4.1.

Se realizó una inspección visual a la zona de estudio en día hábil (martes) y durante el periodo de máxima demanda (matutino de 8-9 am), en la que se observó que la superficie de rodamiento en estas cuatro intersecciones es de concreto hidráulico, marcado con molde de adoquín. Para la primera intersección de la zona de estudio sobre Isabel la Católica y Mesones; el recubrimiento está en condiciones regulares, puesto que, presenta algunas fisuras y agrietamientos; hace falta balizar nuevamente la división de carriles y los cruces peatonales, ya que en este cruce no hay ninguna señalización horizontal. Se cuenta con semáforos de tiempo fijo (flecha azul) y semáforo de paso peatonal (flecha verde); las banquetas se

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

encuentran en buenas condiciones y cuentan con bolardos (flecha roja) en las esquinas que tienen movimiento de giro; sobre Isabel la Católica es en giro a la izquierda y sobre Mesones y en giro a la derecha. En esta intersección se ubican negocios de comercios, de comida, de ropa o artículos diversos al mayoreo. En las Figuras 4.3 a 4.5, se muestra las condiciones y afectaciones de este cruce.

Figura 4.3. *Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Mesones.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4. *Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Mesones.*



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.5. *Afectación vehicular en Isabel la Católica esq. Mesones, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.*

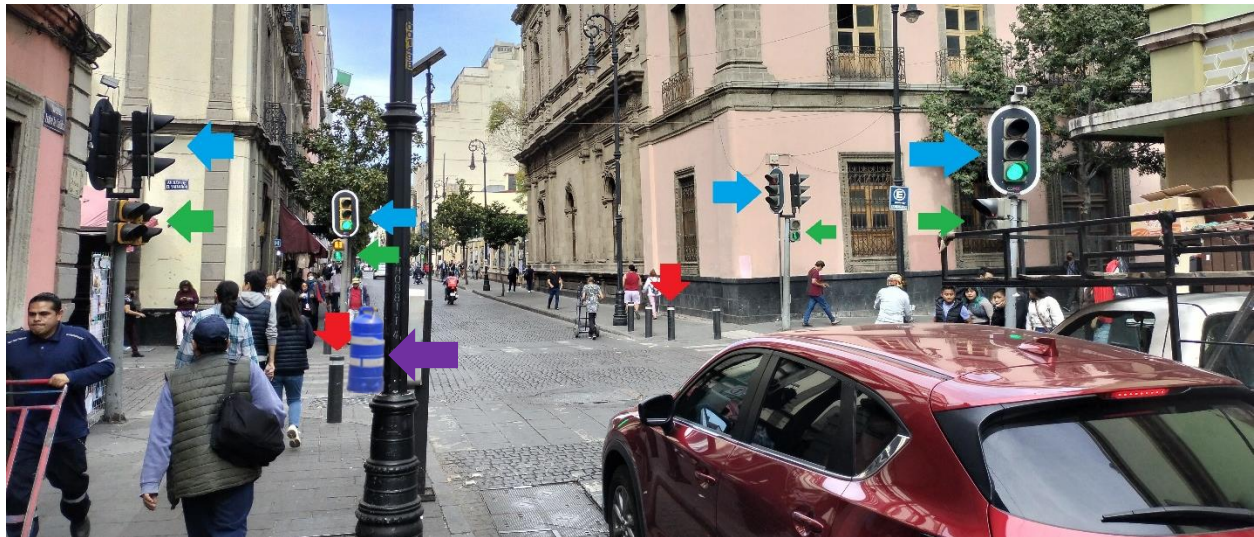


Fuente: Elaboración propia.

Para la segunda intersección de la zona de estudio sobre Isabel la Católica y República del Salvador; el recubrimiento está en condiciones regulares, puesto que, presenta algunas fisuras y agrietamientos; si hay presencia de señalamiento horizontal pero ya está bastante deteriorado y hace falta pintar nuevamente la división de carriles, los cruces peatonales y el señalamiento del carril del Metrobús. Para el control del paso del Metrobús está la presencia de un elemento de tránsito y tambos azules (flecha morada) para evitar que los conductores de vehículos particulares den vuelta hacia donde no corresponde, esto es con respecto al horario matutino, ya que, en horario vespertino, no hay presencia de oficiales de tránsito y por ende existe mucha invasión del carril del Metrobús. Se cuenta con semáforos de tiempo fijo (flecha azul) y semáforo de paso peatonal (flecha verde) y las banquetas se encuentran en buenas condiciones y cuentan con bolardos (flecha roja) en todas las esquinas. En esta intersección se ubican negocios de comercio, puestos de periódico y puestos ambulantes. En las Figuras 4.6 a 4.8, se muestran las condiciones y afectaciones de este cruce.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.6. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Rep. del Salvador.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.7. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Rep. del Salvador.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.8. *Afectaciones vehiculares en Isabel la Católica esq. Rep. del Salvador, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.*



Fuente: Elaboración propia.

Para la tercera intersección de la zona de estudio sobre Isabel la Católica y República de Uruguay; el recubrimiento está en condiciones regulares, puesto que, presenta algunas fisuras y agrietamientos; hace falta pintar nuevamente la división de carriles y los cruces peatonales, ya que en este cruce no hay ninguna señalización horizontal. Se cuenta con la presencia de un elemento de tránsito, también se cuenta con semáforos de tiempo fijo (flecha azul) y semáforo de paso peatonal (flecha verde) y las banquetas se encuentran en buenas condiciones y cuentan con bolardos (flecha roja) en las esquinas que tienen movimiento de giro, sobre Isabel la Católica el giro es a la izquierda y sobre República de Uruguay el giro es a la derecha. En esta intersección se ubican el edificio Telmex, la antigua Biblioteca Nacional, y la Biblioteca del Banco de México. En las Figuras 4.9 a 4.11, se muestra las condiciones y afectaciones de este cruce.

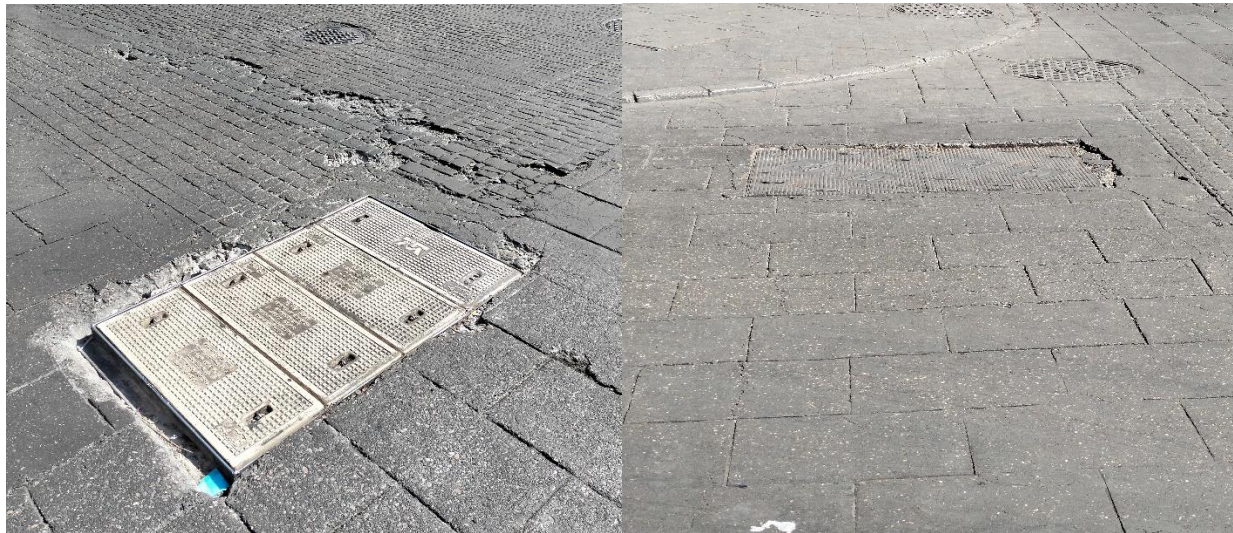
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.9. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Rep. de Uruguay.



Fuente: Elaboración propia.

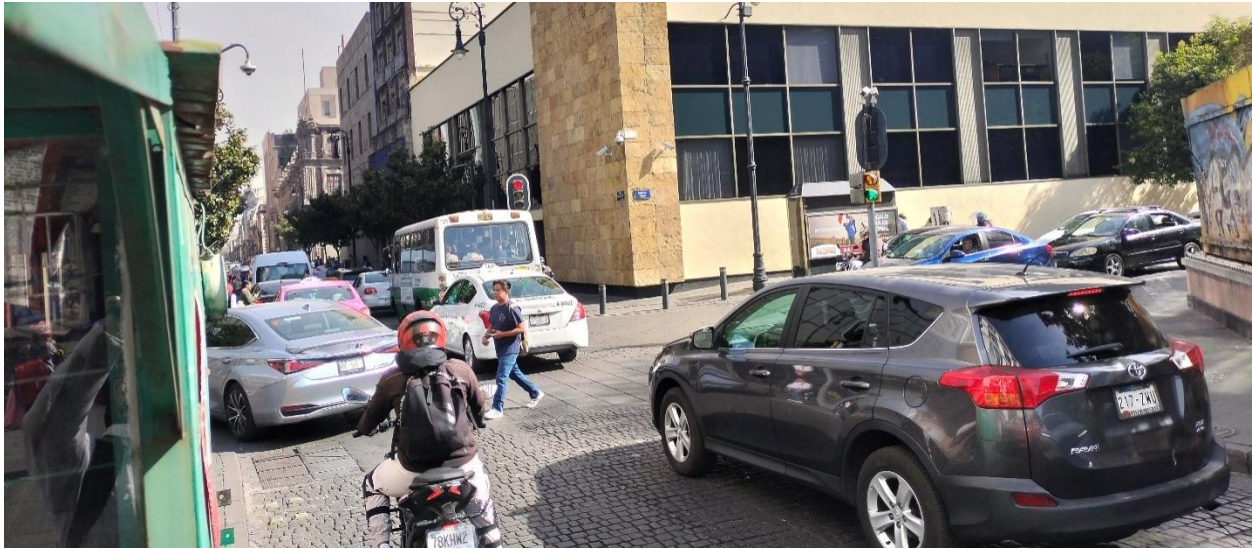
Figura 4.10. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Rep. de Uruguay.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.11. *Afectaciones vehiculares en Isabel la Católica esq. Rep. de Uruguay, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.*

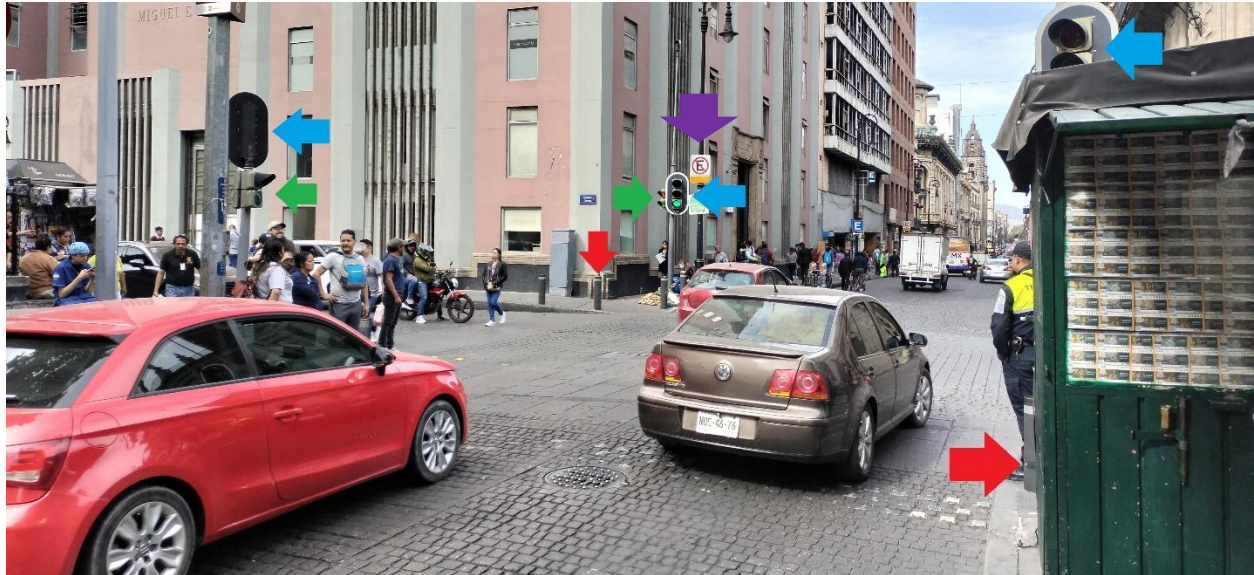


Fuente: Elaboración propia.

Para la cuarta intersección de la zona de estudio sobre Isabel la Católica y Venustiano Carranza; el recubrimiento está en condiciones regulares, puesto que, presenta algunas fisuras y agrietamientos; hace falta pintar nuevamente la división de carriles y los cruces peatonales, ya que en este cruce tampoco hay ninguna señalización horizontal. Se cuenta con la presencia de elementos de la SSC (Secretaría de Seguridad Ciudadana) y de tránsito, también se cuenta con semáforos de tiempo fijo (flecha azul) y semáforo de paso peatonal (flecha verde); las banquetas se encuentran en buenas condiciones y cuentan con bolardos (flecha roja) en las esquinas con movimiento de giro, sobre Isabel la Católica el giro es a la derecha y sobre Venustiano Carranza el giro es a la izquierda; con relación al señalamiento vertical estos son de prohibición de estacionamiento sobre Isabel la Católica (flechas moradas). En esta intersección se ubican el edificio Telmex, el edificio Miguel E. Abed de oficinas, y el Palacio de los Condes San Mateo. En las Figuras 4.12 a 4.14, se muestran las condiciones y afectaciones de este cruce.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.12. Condiciones de señalización y flujo peatonal en Isabel la Católica esq. Venustiano Carranza.



Fuente: Elaboración propia.

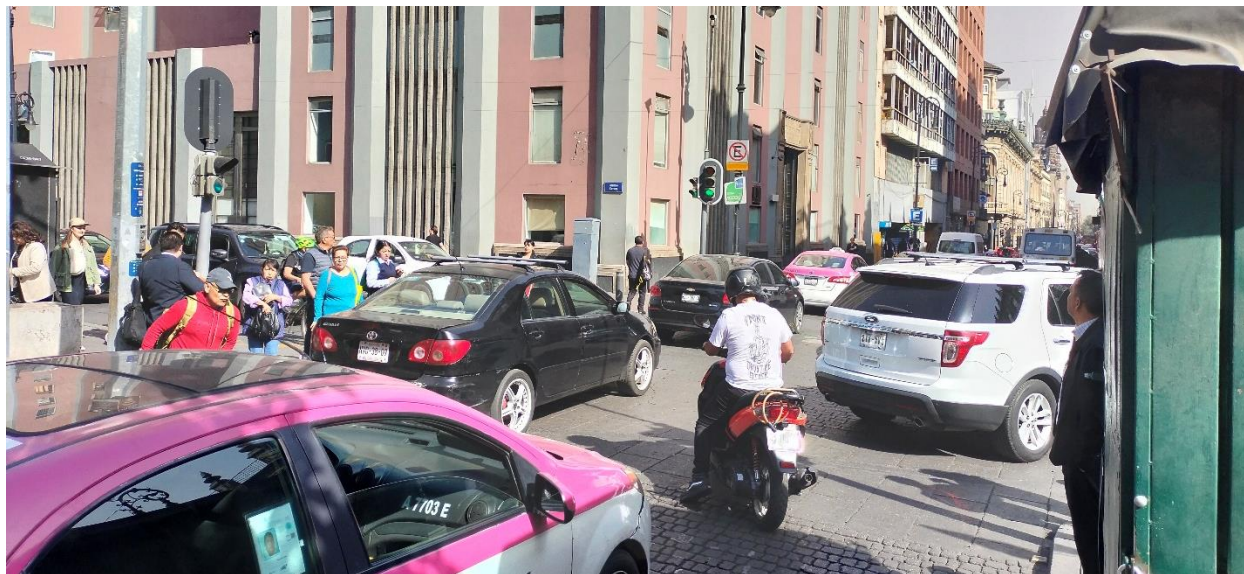
Figura 4.13. Afectaciones físicas en Isabel la Católica esq. Venustiano Carranza.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 4.14. Afectaciones viales en Isabel la Católica esq. Venustiano Carranza, en periodo de máxima demanda matutino, en día martes.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

5 Cálculo de Ciclo Óptimo, Medida Operativa de Efectividad (demora) y Reglaje Mínimo Peatonal.

En este capítulo se presentaron los cálculos necesarios para la determinación de los ciclos óptimos para cada intersección semaforizada, así como la propuesta para mejorar los tiempos de ciclo. El primer paso fue lograr que los volúmenes arteriales fueran congruentes a lo largo de la arteria, es decir, cuadrar sus valores, de tal manera que “lo que entra” coincida con “lo que sale”; en seguida se determinan los ciclos óptimos de operación, la medida operativa de efectividad (tiempos de demora), utilizando el método de Webster y los criterios del HCM 2000; así como el cálculo del reglaje mínimo peatonal.

Estos procesos se describen a continuación.

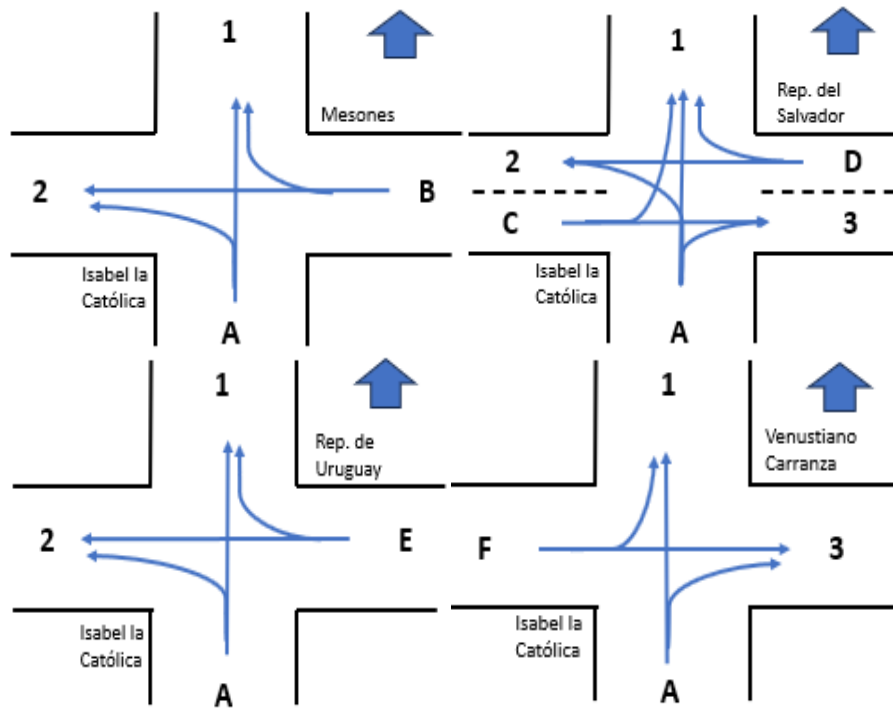
5.1 Proceso para cuadrar los volúmenes de la arteria.

Lo primero que se realizó fue obtener los volúmenes de hora de máxima demanda para cada uno de los movimientos direccionales de los aforos con periodo de análisis de 8:00 a 9:00 hr (horario matutino) y de 13:15 a 14:15 hr (horario vespertino), calculando los porcentajes de transporte público y de vehículos de carga para cada uno de los accesos (ver Anexo 1). Posteriormente, se escogió una intersección maestra, la cual fue la que alimenta la intersección subsecuente; y a partir de esta intersección maestra se organizaron los demás flujos vehiculares.

Después, se procedió a construir el diagrama de las intersecciones con los volúmenes de máxima demanda para cada uno de los movimientos direccionales de cada intersección semaforizada (ver Figura 5.1), luego, se identificó el flujo que ingresa a cada una de las intersecciones (de cada brazo), así como los volúmenes por acceso (ver Figuras 5.2 a 5.5). Ya que se tuvieron los volúmenes totales, para seleccionar la intersección maestra se identificó la intersección semaforizada de mayor volumen sobre la arteria de análisis. En donde la vialidad que se repite, representó la arteria a analizar; que para este caso es Isabel la Católica.

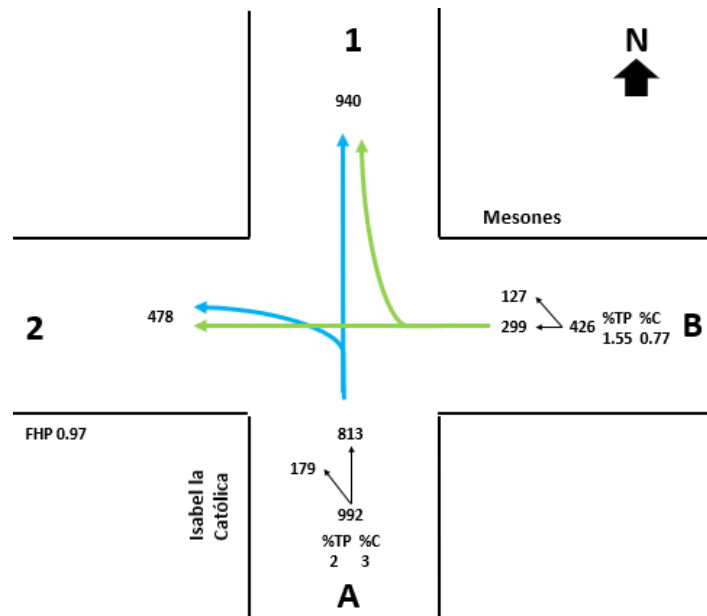
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.1. Diagramas con movimientos direcciones de cada intersección.



Fuente: Elaboración propia.

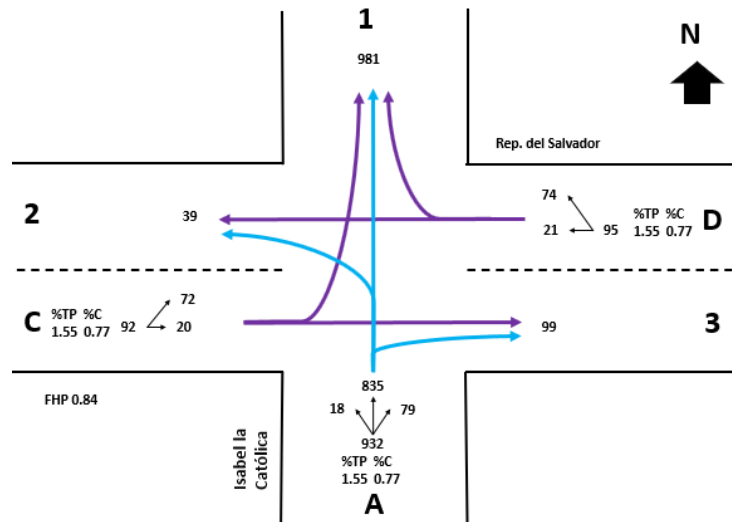
Figura 5.2. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y Mesones.



Fuente: Elaboración propia.

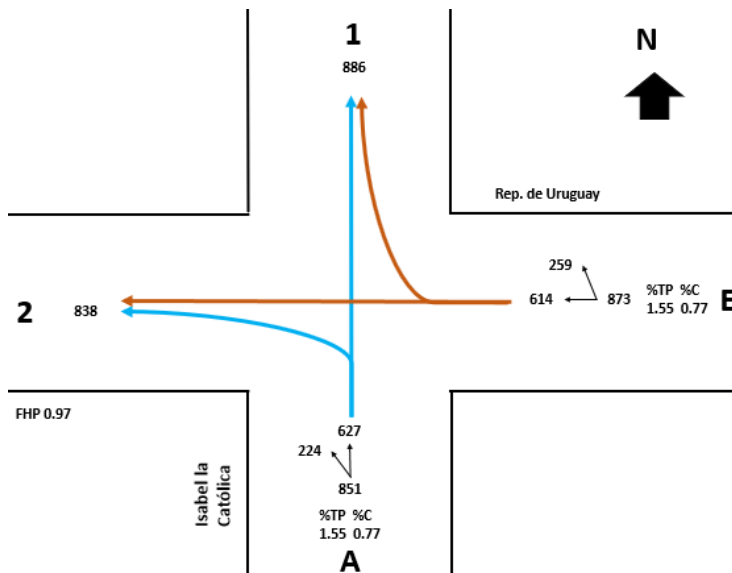
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.3. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y República del Salvador.



Fuente: Elaboración propia.

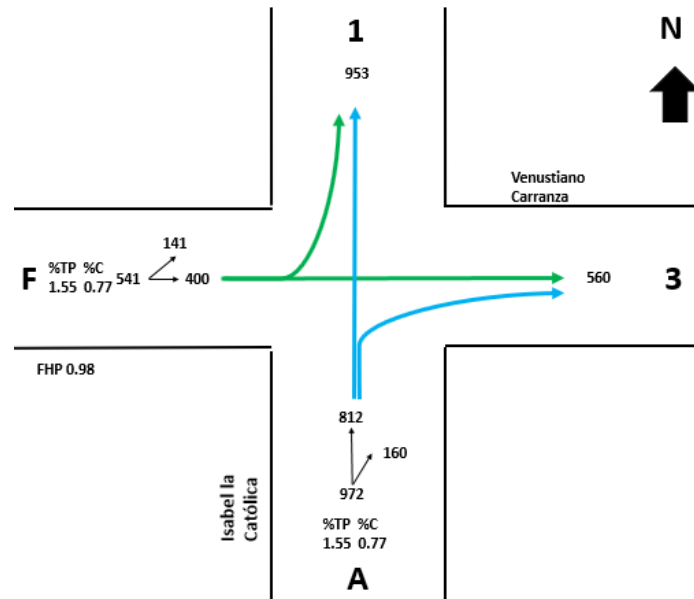
Figura 5.4. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y República de Uruguay.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.5. Diagrama con Volúmenes de HMD Isabel la Católica y Venustiano Carranza.

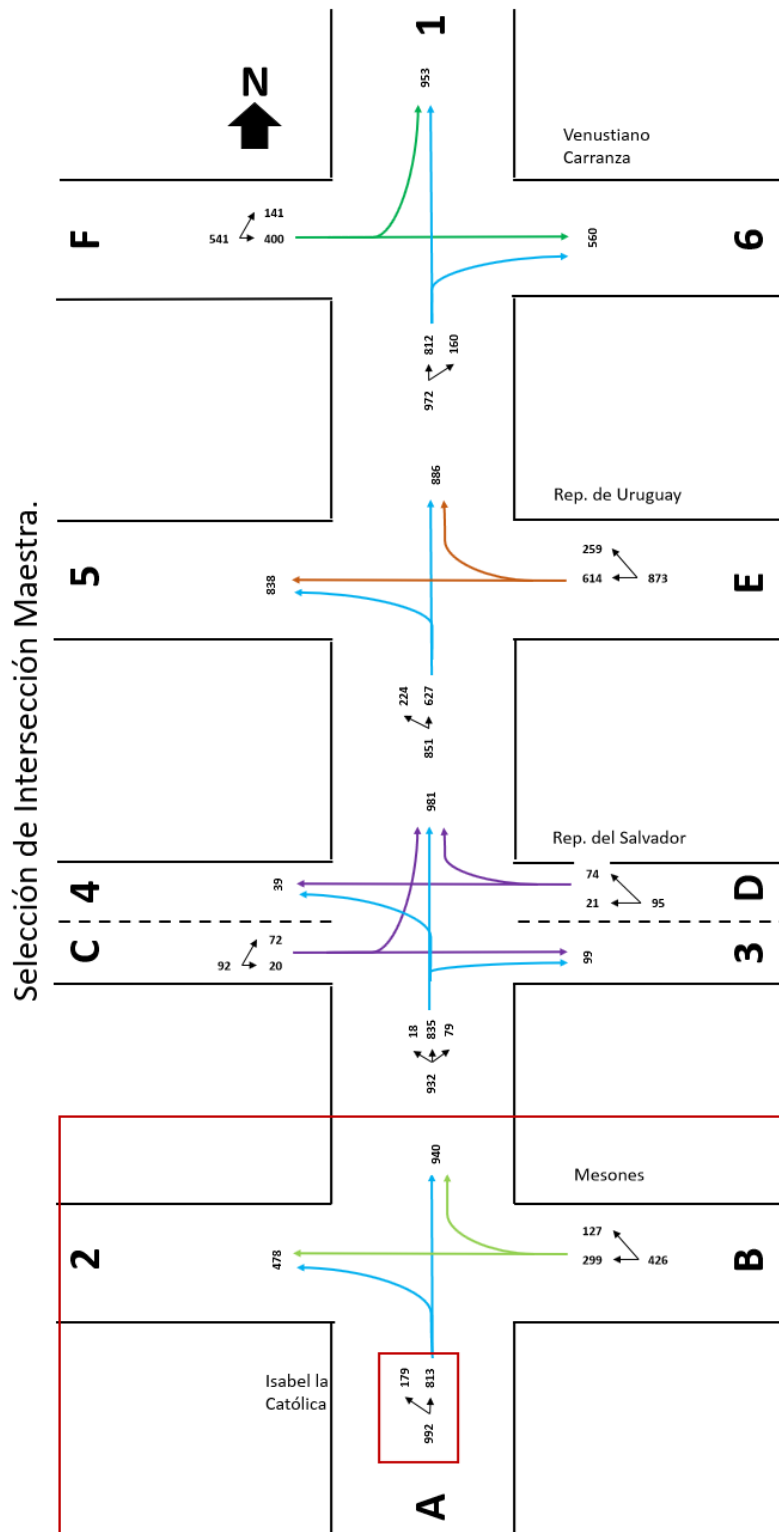


Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se identifican los volúmenes más altos sobre la arteria (Isabel la Católica), el cual es 992 veh en el movimiento direccional A1, se indica con un cuadro rojo (ver Figura 5.6), que corresponde a la intersección con la calle de Mesones; por lo tanto, en esta intersección, no se modificaran los volúmenes vehiculares, y desde ésta, se ajustaran los volúmenes para la intersección subsecuente. Considerando una distancia entre estas cuatro intersecciones semaforizadas de 391 m.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.6. Selección de intersección maestra.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

A continuación, se identificó la clase de arteria, que depende de la velocidad de flujo libre; usando los criterios del Manual de Capacidad de Carreteras del 2000, se tienen 4 tipos que se muestran en la Tabla 1 (ver Anexo 2), donde la clase 1 corresponde a una velocidad de 90-70 km/h, la clase 2 a una velocidad de 70-55 km/h, la clase 3 a una velocidad de 55-50 km/h y la clase 4 a una velocidad de 55-40 km/h. Para el caso de Isabel la Católica, como vía secundaria con la señalización horizontal en el pavimento, y según el reglamento de tránsito de la CDMX la velocidad es de 40 km/h, por lo que es una arteria del tipo 4; y para el caso de las calles de Mesones, República del Salvador, República de Uruguay y Venustiano Carranza, al ser zonas de tránsito calmado, la velocidad es de 30 km/h.

- Los flujos que salen de la intersección maestra son: A1 y B1, donde:

A1: 813 veh/h

B2: 127 veh/h

En total deben llegare 940 veh/h a la siguiente intersección, sobre Isabel la Católica (sobre A1), y dado que, estos volúmenes son de la intersección maestra, no se modificarán hasta el momento de pasar los volúmenes a vehículos equivalentes (qADE).

- Para la siguiente intersección con República del Salvador deben llegar 981 veh/h y los flujos que salen de esta intersección son:

A1: 835 veh/h

C1: 72 veh/h

D1: 74 veh/h

Ahora se dividen los volúmenes entre el total de vehículos que llegan a este acceso para obtener la distribución de porcentajes de cada movimiento.

$$A1: 835 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{835}{981}\right) * 100 = 85.12\% = 85\%$$

$$C1: 72 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{72}{981}\right) * 100 = 7.34\% = 7\%$$

$$D1: 74 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{74}{981}\right) * 100 = 7.54\% = 8\%$$

Para distribuir estos volúmenes se realizan las siguientes operaciones:

Para el movimiento A1:

$$\frac{835}{981} = 0.85; \quad 0.85 * 851 = 724 \frac{\text{veh}}{\text{h}}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Que son los que cruzan hacia República de Uruguay en el movimiento de frente.

Para el movimiento C1:

$$\frac{72}{981} = 0.07; \quad 0.07 * 851 = 62 \frac{veh}{h}$$

Que son los que llegan de República del Salvador a Isabel la Católica en el movimiento de giro a la derecha.

Para el movimiento D1:

$$\frac{74}{981} = 0.08; \quad 0.08 * 851 = 64 \frac{veh}{h}$$

De este modo obtenemos los volúmenes que son los que llegan de República del Salvador a Isabel la Católica en el movimiento de giro a la izquierda.

- Para la siguiente intersección con República de Uruguay deben llegar 886 veh/h y los flujos que salen de esta intersección son:

A1: 627 veh/h

E1: 259 veh/h

Ahora se dividen los volúmenes entre el total de vehículos que llegan a este acceso para obtener la distribución de porcentajes de cada movimiento.

$$A1: 627 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{627}{886}\right) * 100 = 70.77\% = 71\%$$

$$E1: 259 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{259}{886}\right) * 100 = 29.23\% = 29\%$$

Para distribuir estos volúmenes se realizan las siguientes operaciones:

Para el movimiento A1:

$$\frac{627}{886} = 0.71; \quad 0.71 * 972 = 688 \frac{veh}{h}$$

Que son los que cruzan hacia Venustiano Carranza en el movimiento de frente.

Para el movimiento B1:

$$\frac{259}{886} = 0.29; \quad 0.29 * 972 = 284 \frac{veh}{h}$$

Que son los que llegan de República de Uruguay a Isabel la Católica en el movimiento de giro a la derecha.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Para la siguiente intersección con Venustiano Carranza deben llegar 953 veh/h y los flujos que salen de esta intersección son:

A1: 812 veh/h

F1: 141 veh/h

Ahora se dividen los volúmenes entre el total de vehículos que llegan a este acceso para obtener la distribución de porcentajes de cada movimiento.

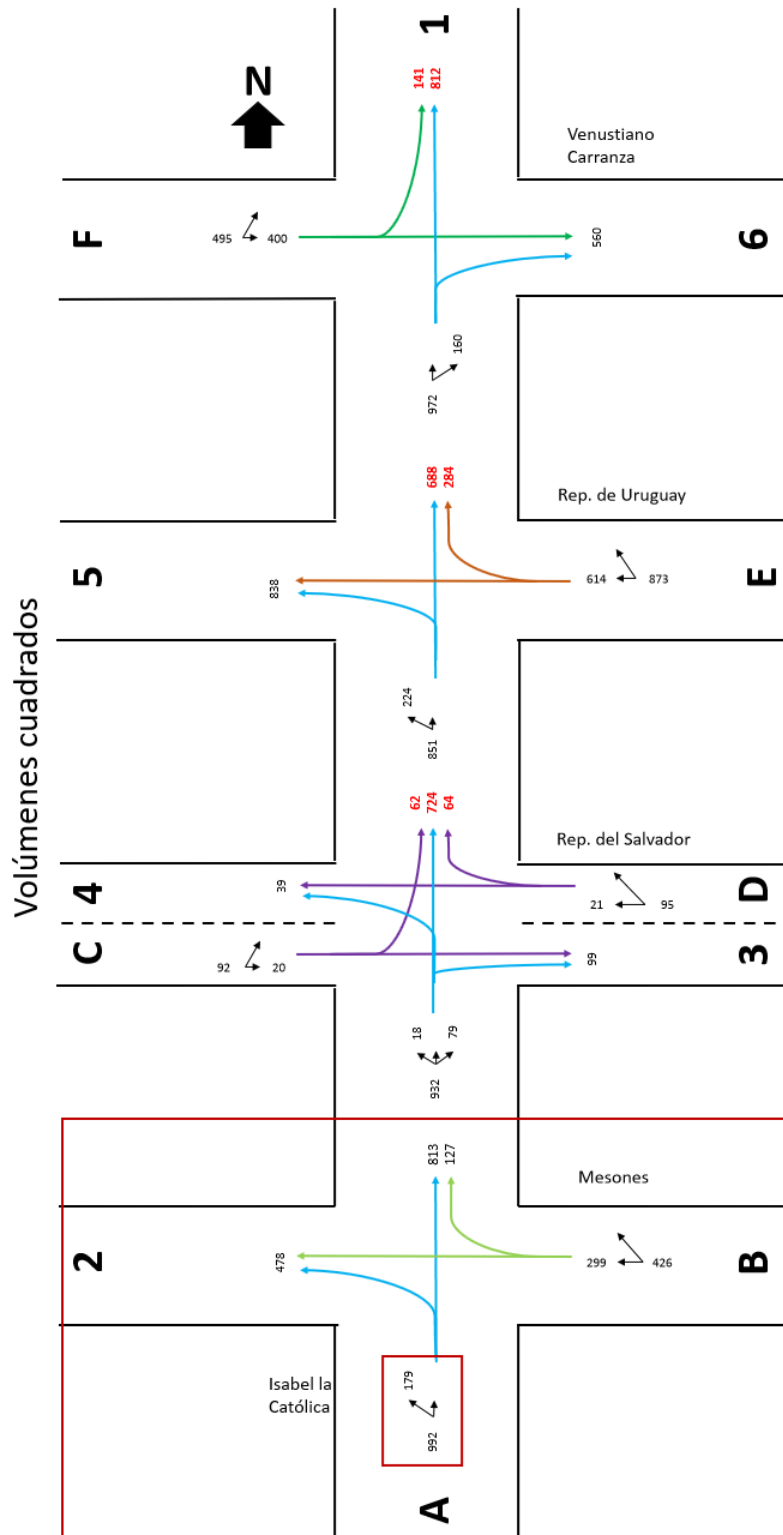
$$A1: 812 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{812}{953} \right) * 100 = 85.20\% = 85\%$$

$$F1: 141 \text{ veh/h} \approx \left(\frac{141}{953} \right) * 100 = 14.80\% = 15\%$$

Estos volúmenes ya no es necesario cuadrarlos puesto que son los últimos del análisis y ya no hay datos de otra intersección subsecuente para analizarlos, por lo tanto, en la Figura 5.7, se muestran en color rojo los volúmenes ajustados para la arteria. Y a continuación, se muestra en la Figura 5.8, los volúmenes transformados a vehículos equivalentes, considerando el Factor de Hora Pico (FHP), y % de Camiones (C) y autobuses y transporte público (B).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

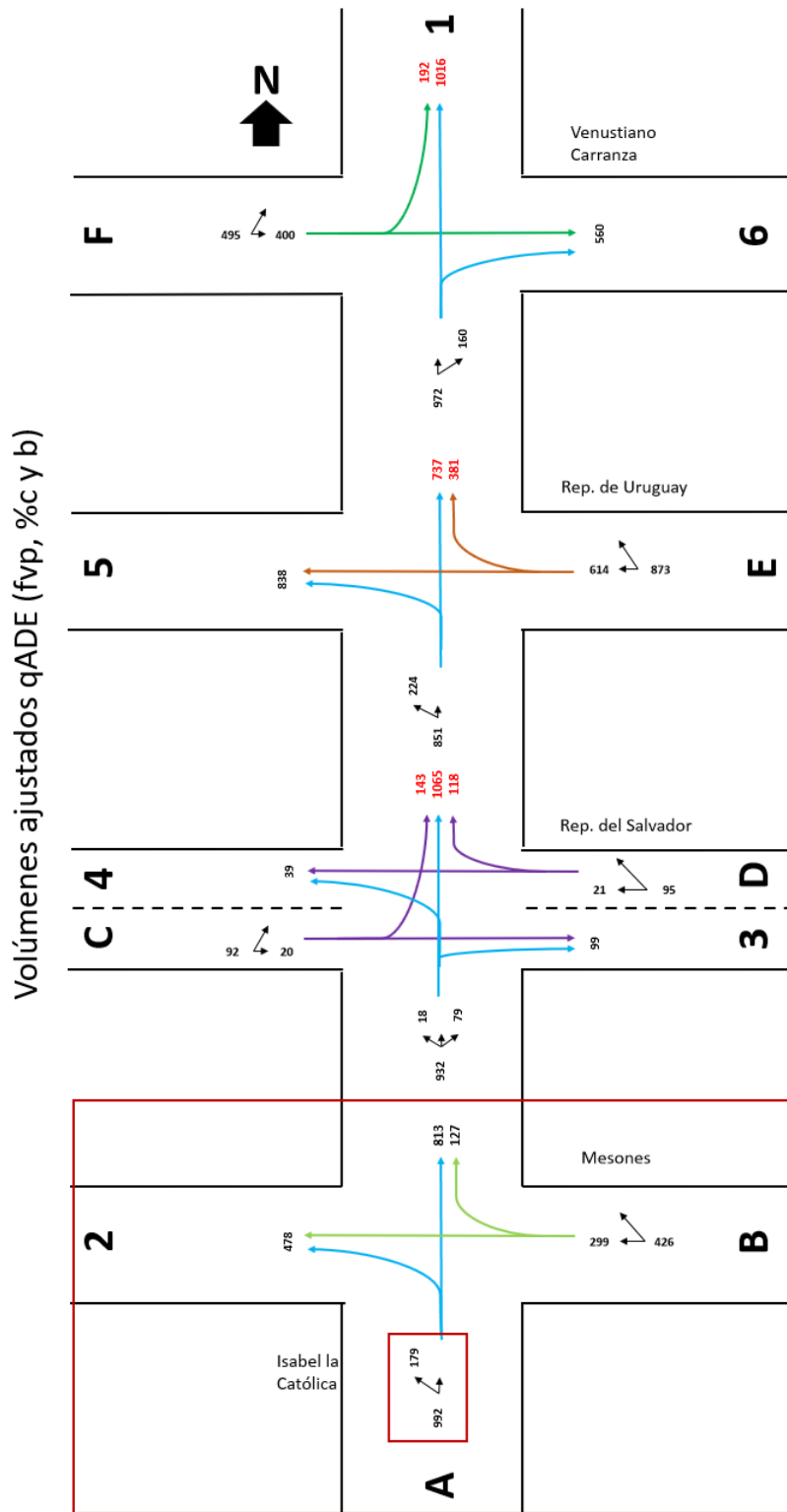
Figura 5.7. Volúmenes cuadrados desde la intersección maestra.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.8. Volúmenes transformados a vehículos equivalentes (qADE).



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

5.2 Cálculo de la Medida Operativa de Efectividad: demora total de cada intersección utilizando el método de Webster y del HCM 2000 para comparar las condiciones en cada caso.

La demora es considerada una medida operativa de efectividad, partiendo de la eficiencia de un dispositivo vial, en donde se tomará en consideración la fluidez con la que los usuarios circulan por medio de este dispositivo, mientras menor número de demoras tenga, se tendrá un mejor funcionamiento en un dispositivo vial.

Aquí se muestran los valores de las demoras obtenidas en las operaciones de “dj” con el modelo de Webster, para cada uno de los grupos de carriles para las cuatro intersecciones, como se muestra en la Tabla 5.1. En seguida, en la Figura 5.9 se muestran en el croquis los datos de las demoras por acceso para cada intersección.

Para calcular esta demora por acceso, se tiene una demora asociada a una intensidad, donde aplicamos la siguiente fórmula (1):

$$D = \frac{[I1(d1) + I2(d2)]}{(I1 + I2)} \quad (1)$$

En donde:

- D= Demora por acceso
- I1= Intensidad 1
- I2= Intensidad 2
- d1= demora 1
- d2= demora 2
- Entonces para la intersección de I. la C. con Mesones, se tiene:

$$D_{Acc.A} = \frac{[1676(7.13)]}{(1676)} = 7.13 \frac{s}{veh}$$

$$D_{Acc.B} = \frac{[683(16.40)]}{(683)} = 16.40 \frac{s}{veh}$$

Ahora la demora total para esta intersección se obtiene con la siguiente fórmula (2):

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)} \quad (2)$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[1676(7.13) + 683(16.40)]}{(2359)} = 9.82 \frac{s}{veh}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Entonces para la intersección de I. la C. con Rep. del Salvador, se tiene:

$$D_{Acc.A} = \frac{[1194(3.84)]}{(1194)} = 3.84 \frac{s}{veh}$$

$$D_{Acc.C} = \frac{[142(11.51)]}{(142)} = 11.51 \frac{s}{veh}$$

$$D_{Acc.D} = \frac{[166(12.63)]}{(166)} = 12.63 \frac{s}{veh}$$

Ahora la demora total para esta intersección se obtiene con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[1194(3.84) + 308(12.12)]}{(1502)} = 5.54 \frac{s}{veh}$$

- Entonces para la intersección de I. la C. con Rep. de Uruguay, se tiene:

$$D_{Acc.A} = \frac{[1017(9.92)]}{(1017)} = 9.92 \frac{s}{veh}$$

$$D_{Acc.E} = \frac{[1109(9.27)]}{(1109)} = 9.27 \frac{s}{veh}$$

Ahora la demora total para esta intersección se obtiene con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[1017(9.92) + 1109(9.27)]}{(2126)} = 9.58 \frac{s}{veh}$$

- Entonces para la intersección de I. la C. con Venustiano Carranza, se tiene:

$$D_{Acc.A} = \frac{[1377(6.11)]}{(1377)} = 6.11 \frac{s}{veh}$$

$$D_{Acc.F} = \frac{[630(45.11)]}{(630)} = 41.55 \frac{s}{veh}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Ahora la demora total para esta intersección se obtiene con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[1377(6.11) + 630(41.55)]}{(2008)} = 17.23 \frac{s}{veh}$$

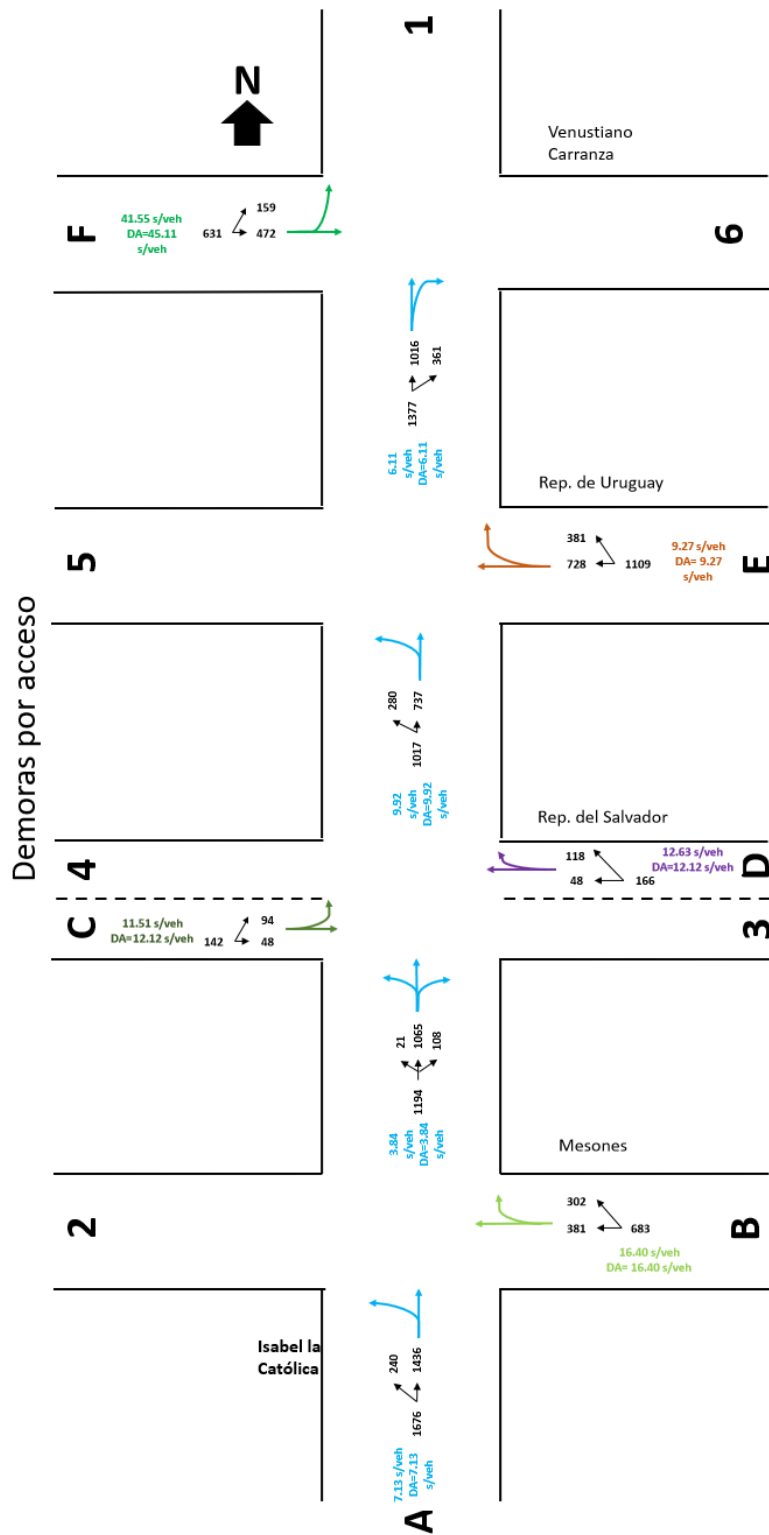
Tabla 5.1. Demoras por acceso en cada intersección.

Demoras por acceso con Webster				
Isabel la Católica / Mesones				
Demora (s)	Fase			
	A		B	
	1	2	1	2
Dj (s/veh)	0.00	7.13	0.00	16.40
Nivel de Servicio	A	A	A	B
Isabel la Católica / República del Salvador				
Demora (s)	Fase			
	A		C	D
	1	2	1	2
Dj (s/veh)	0.00	3.84	11.51	12.63
Nivel de Servicio	A	A	B	B
Isabel la Católica / República de Uruguay				
Demora (s)	Fase			
	A		E	
	1	2	1	2
Dj (s/veh)	0.00	9.92	0.00	9.27
Nivel de Servicio	A	A	A	A
Isabel la Católica / Venustiano Carranza				
Demora (s)	Fase			
	A		F	
	1	2	1	2
Dj (s/veh)	0.00	6.11	0.00	41.55
Nivel de Servicio	A	A	A	D

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.9. Demoras por acceso con el Modelo de Webster.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Ahora con estos valores, van a ser comparados utilizando los criterios del manual de capacidad de carreteras HCM, en su versión del 2000 (ver Anexo 3), para el nivel de servicio sugeridos por el manual, como se muestra a continuación en la siguiente Tabla 5.2 para su comparativa. En la Figura 5.10 se observan la demora total cada intersección y en la Figura 5.11 se muestran junto con el nivel de servicio considerado por el HCM del 2000.

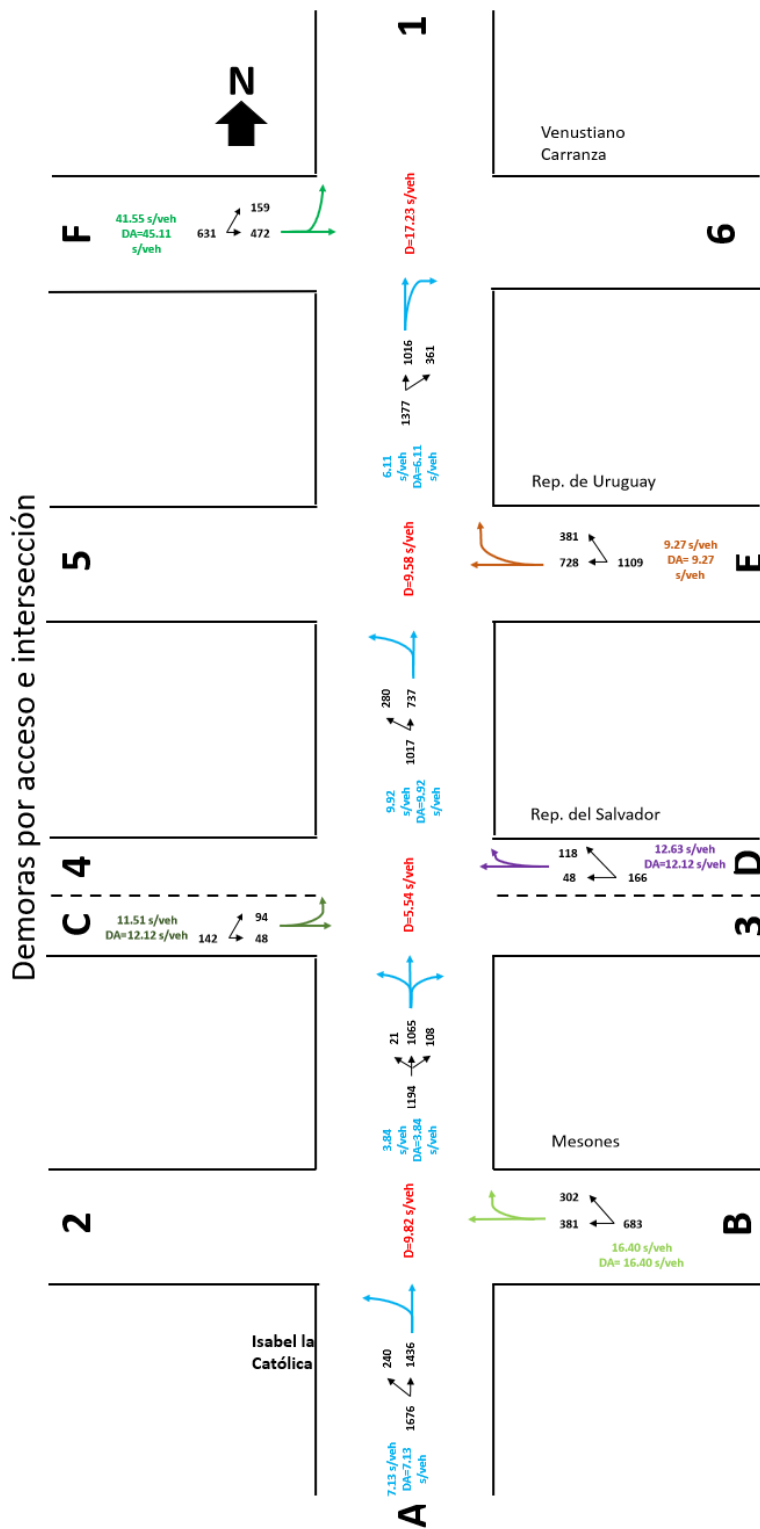
Tabla 5.2. Comparativa de nivel de servicio en demora para cada intersección.

Demora por intersección y LOS				
Intersección	Demora por intersección (s)		Nivel de Servicio	Descripción
Isabel la Católica / Mesones	9.82	s/veh	A	Con el tiempo de demora de Webster de 9.82 seg, se considera Nivel de Servicio A, porque el tiempo de demora es menor o igual a 10 segundos.
Isabel la Católica / República del Salvador	5.54	s/veh	A	Con el tiempo de demora de Webster de 5.54 seg, se considera Nivel de Servicio A, porque el tiempo de demora es menor o igual a 10 segundos.
Isabel la Católica / República de Uruguay	9.58	s/veh	A	Con el tiempo de demora de Webster de 9.58 seg, se considera Nivel de Servicio A, porque el tiempo de demora es menor o igual a 10 segundos.
Isabel la Católica / Venustiano Carranza	17.23	s/veh	B	Con el tiempo de demora de Webster de 17.23 seg, se considera Nivel de Servicio B, porque el tiempo de demora está en el rango de 10 a 20 segundos.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

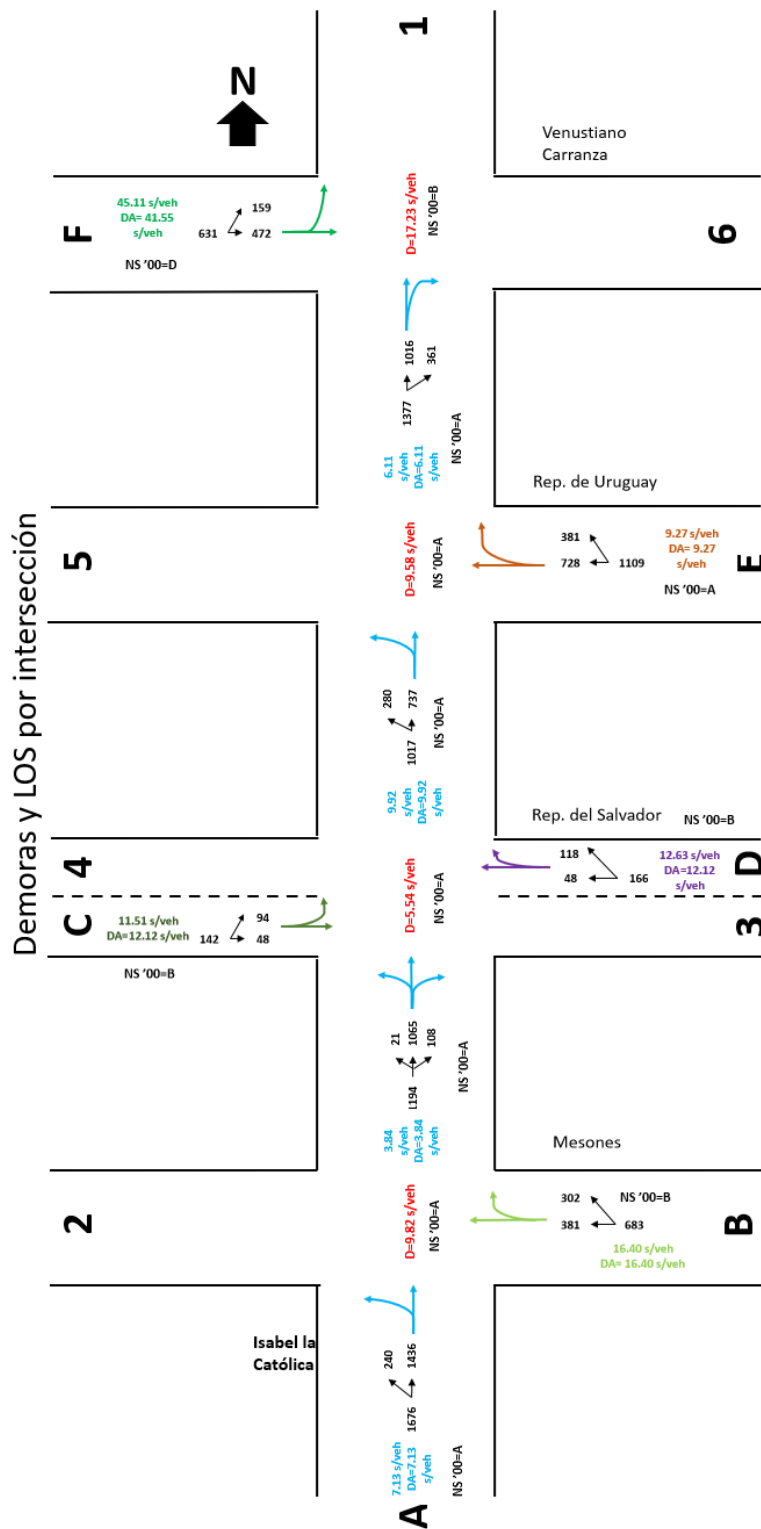
Figura 5.10. Demora total por acceso y por intersección.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.11. Demora total de cada intersección con su nivel de servicio.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

A continuación, se muestran los valores de las demoras obtenidas con el Manual de Capacidad de Carreteras del '00, para cada uno de los grupos de carriles de las cuatro intersecciones, se muestran las fórmulas de la demora 1 (demora uniforme) y de la demora 2 (incremental), posteriormente como se muestra en la Tabla 5.3 están los resultados de la demora total de cada intersección. Los formatos con los resultados obtenidos, se pueden observar en el Anexo 4. En la Figura 5.12 se muestran las demoras por acceso de cada intersección y en la Figura 5.13 se muestran con su respectivo nivel de servicio.

- Usando los datos del formato queda de la siguiente forma para la intersección de Isabel la Católica y Mesones; para la demora uniforme $d1$ se tiene la siguiente fórmula (3):

$$d1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left(\frac{g}{C}\right) \min(X, 1)} \quad (3)$$

Donde:

- $d1$ = Demora uniforme (llegadas uniformes)
- C = Longitud de ciclo
- g/C = Proporción de tiempo de verde disponible
- X = Relación v/c (volumen/capacidad) o grado de saturación por grupo de carriles

$$d1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left(\frac{g}{C}\right) \min(X, 1)}$$

$$d1_{AccN} = \frac{0.5(116)(1 - 0.61)^2}{1 - (0.61)(1)} = 22.5 \text{ seg}$$

$$d1_{AccW} = \frac{0.5(116)(1 - 0.34)^2}{1 - (0.34)(1)} = 38.5 \text{ seg}$$

Para la demora incremental $d2$ se tiene la siguiente fórmula (4):

$$d2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right] \quad (4)$$

Donde:

- $d2$ = Demora incremental (llegadas aleatorias)
- T = Duración del periodo de análisis (h)
- X = Relación v/c (volumen/capacidad) o grado de saturación por grupo de carriles
- k = Factor de demora incremental, depende de las características del tipo de semáforo
- I = Factor de ajuste por el efecto de intersecciones adyacentes, aguas arriba

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- c = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)

Usando los datos del formato, queda de la de la siguiente forma:

$$d2_{AccN} = 900(0.25) \left[(1.49 - 1) + \sqrt{(1.49 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(1.49)}{1845(0.25)}} \right] = 223.42 \text{ seg}$$

$$d2_{AccW} = 900(0.25) \left[(1.02 - 1) + \sqrt{(1.02 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(1.02)}{931(0.25)}} \right] = 34.63 \text{ seg}$$

Ahora la demora total para la intersección, se obtiene con la siguiente fórmula (2):

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[245.9(1676) + 73.13(683)]}{(2359)} = 195.93 \frac{s}{veh}$$

- Para la siguiente intersección de Isabel la Católica y República del Salvador; para la demora uniforme $d1$ se tiene la siguiente fórmula (3):

$$d1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left(\frac{g}{C}\right) \min(X, 1)}$$

$$d1_{AccN} = \frac{0.5(111)(1 - 0.54)^2}{1 - (0.54)(0.78)} = 20.34 \text{ seg}$$

$$d1_{AccE} = \frac{0.5(111)(1 - 0.41)^2}{1 - (0.41)(0.29)} = 21.92 \text{ seg}$$

$$d1_{AccW} = \frac{0.5(111)(1 - 0.41)^2}{1 - (0.41)(0.37)} = 22.77 \text{ seg}$$

Para la demora incremental $d2$ se tiene la siguiente fórmula (4):

$$d2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right]$$

Usando los datos del formato, queda de la de la siguiente forma:

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$d2_{AccN} = 900(0.25) \left[(0.78 - 1) + \sqrt{\left[(0.78 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(0.78)}{1638(0.25)} \right]} \right] = 3.75 \text{ seg}$$

$$d2_{AccE} = 900(0.25) \left[(0.29 - 1) + \sqrt{\left[(0.29 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(0.29)}{589(0.25)} \right]} \right] = 1.24 \text{ seg}$$

$$d2_{AccW} = 900(0.25) \left[(0.37 - 1) + \sqrt{\left[(0.37 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(0.37)}{542(0.25)} \right]} \right] = 1.93 \text{ seg}$$

Ahora la demora total para la intersección, se obtiene con la siguiente fórmula (2):

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[24.09(1194) + 23.16(142) + 24.7(166)]}{(1502)} = 24.07 \frac{s}{veh}$$

- Para la siguiente intersección de Isabel la Católica y República de Uruguay; para la demora uniforme d1 se tiene la siguiente fórmula (3):

$$d1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left(\frac{g}{C}\right) \min(X, 1)}$$

$$d1_{AccN} = \frac{0.5(116)(1 - 0.59)^2}{1 - (0.59)(0.7)} = 16.61 \text{ seg}$$

$$d1_{AccW} = \frac{0.5(116)(1 - 0.35)^2}{1 - (0.53)(1)} = 25.39 \text{ seg}$$

Para la demora incremental d2 se tiene la siguiente fórmula (4):

$$d2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{\left[(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT} \right]} \right]$$

Usando los datos del formato, queda de la de la siguiente forma:

$$d2_{AccW} = 900(0.25) \left[(0.7 - 1) + \sqrt{\left[(0.7 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(0.7)}{1654(0.25)} \right]} \right] = 2.49 \text{ seg}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$d2_{AccN} = 900(0.25) \left[(1.3 - 1) + \sqrt{\left[(1.3 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(1.3)}{1005(0.25)} \right]} \right] = 142.36 \text{ seg}$$

Ahora la demora total para la intersección, se obtiene con la siguiente fórmula (2):

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[19.1(1017) + 167.79(1109)]}{(2126)} = 96.66 \frac{s}{veh}$$

- Para la última intersección de Isabel la Católica y Venustiano Carranza; para la demora uniforme d1 se tiene la siguiente fórmula (3):

$$d1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left(\frac{g}{C}\right) \min(X, 1)}$$

$$d1_{AccN} = \frac{0.5(118)(1 - 0.63)^2}{1 - (0.63)(0.99)} = 21.47 \text{ seg}$$

$$d1_{AccW} = \frac{0.5(118)(1 - 0.32)^2}{1 - (0.32)(0.66)} = 34.59 \text{ seg}$$

Para la demora incremental d2 se tiene la siguiente fórmula (4):

$$d2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{\left[(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT} \right]} \right]$$

Usando los datos del formato, queda de la de la siguiente forma:

$$d2_{AccN} = 900(0.25) \left[(0.99 - 1) + \sqrt{\left[(0.99 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(0.99)}{1699(0.25)} \right]} \right] = 19.59 \text{ seg}$$

$$d2_{AccW} = 900(0.25) \left[(0.66 - 1) + \sqrt{\left[(0.66 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(0.66)}{1060(0.25)} \right]} \right] = 3.23 \text{ seg}$$

Ahora la demora total para la intersección, se obtiene con la siguiente fórmula (2):

$$D = \frac{[IA(DA) + IB(DB) + IC(DC) + ID(DD)]}{(IA + IB + IC + ID)}$$

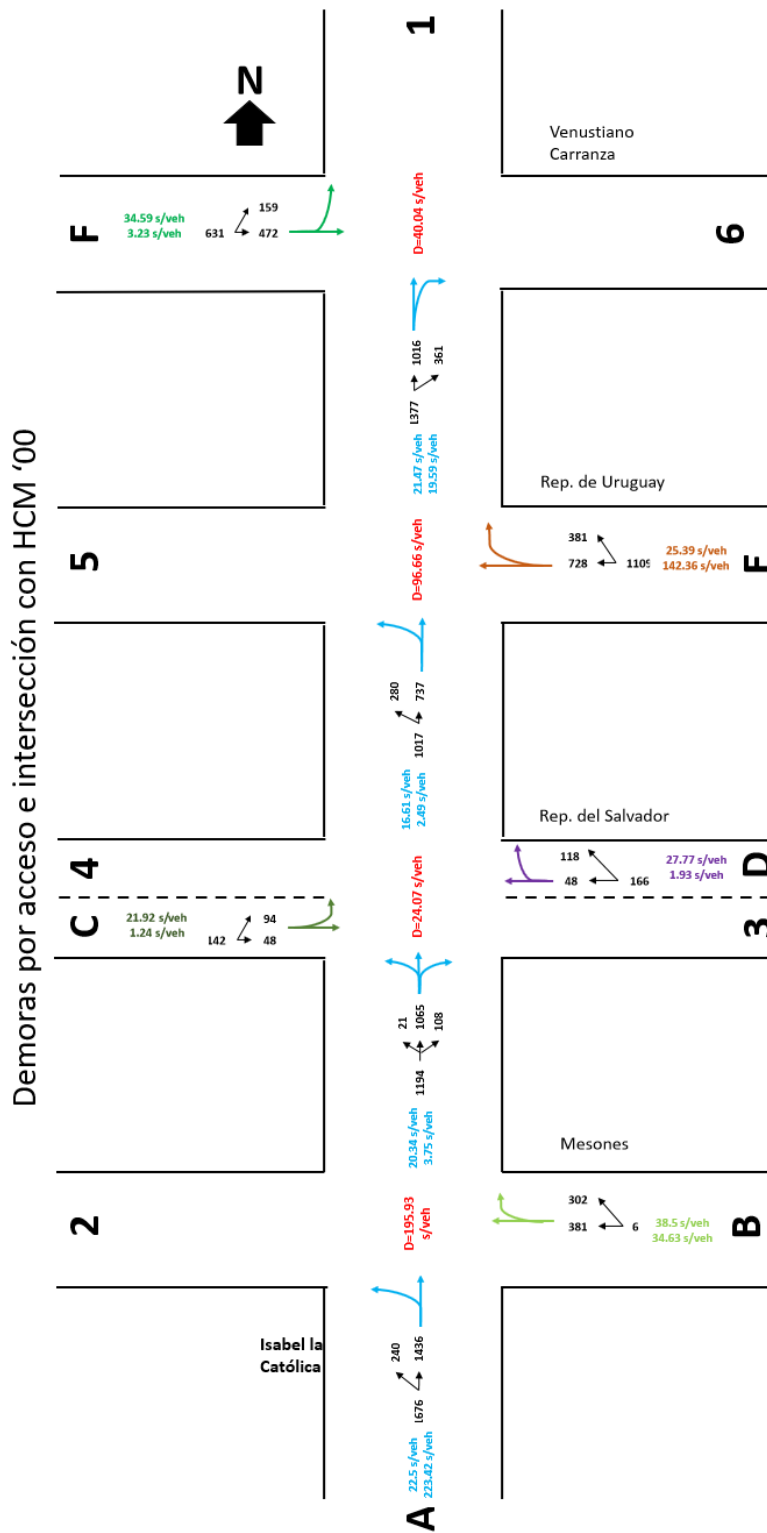
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Por lo tanto, se tiene:

$$D = \frac{[41.06(1377) + 37.82(630)]}{(2007)} = 40.04 \frac{s}{veh}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

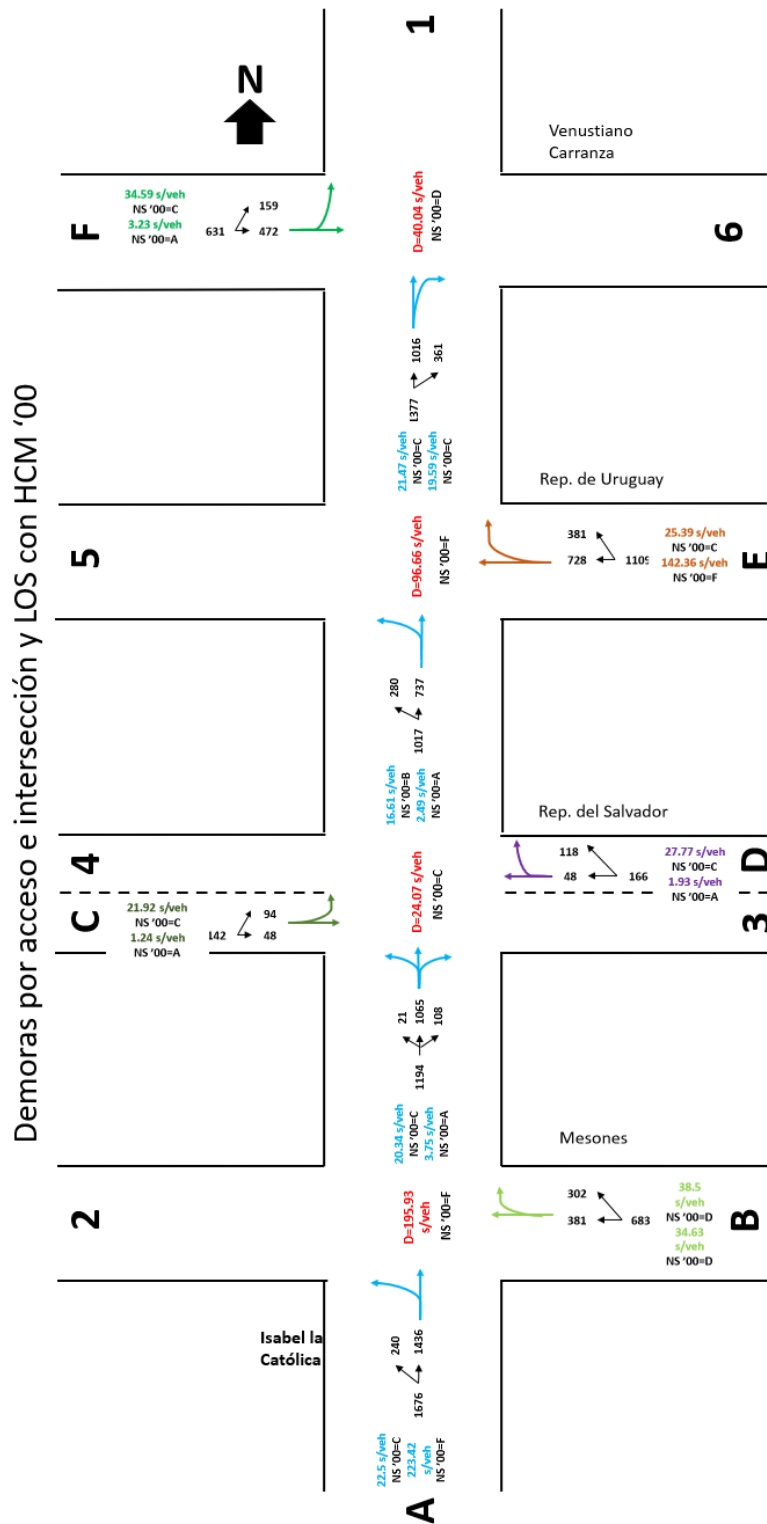
Figura 5.12. Demora total por acceso y por intersección con HCM 2000.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.13. Demora total de las intersecciones con Nivel de Servicio con el HCM 2000.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 5.3. Resultados de demoras por intersección con el HCM 2000.

Demora por intersección y Nivel de Servicio				
Intersección	Demora por intersección (s)		Nivel de Servicio	Descripción
Isabel la Católica / Mesones	195.93	s/veh	F	Con el tiempo de demora del HCM de 195.93 seg, se considera Nivel de Servicio F, porque el tiempo de demora está supera el rango de 80 segundos.
Isabel la Católica / República del Salvador	24.07	s/veh	C	Con el tiempo de demora del HCM de 24.07 seg, se considera Nivel de Servicio C, porque el tiempo de demora está en el rango de 20 a 35 segundos.
Isabel la Católica / República de Uruguay	96.66	s/veh	F	Con el tiempo de demora del HCM de 96.66 seg, se considera Nivel de Servicio F, porque el tiempo de demora está supera el rango de 80 segundos.
Isabel la Católica / Venustiano Carranza	40.04	s/veh	D	Con el tiempo de demora del HCM de 40.04 seg, se considera Nivel de Servicio C, porque el tiempo de demora está en el rango de 35 a 55 segundos.

Fuente: Elaboración propia.

El método de Webster es utilizado para obtener el tiempo de ciclo óptimo para minimizar las demoras en las intersecciones considerando el flujo del tráfico, el tiempo perdido y la capacidad, pero no toma en cuenta otros factores para el análisis como el ancho de carril, las características geométricas de la intersección. En cambio, el Manual de Capacidad de Carreteras del 2000, puede realizar un análisis más detallado al considerar el ancho de carril, las características geométricas, número de peatones, y vehículos pesados.

De este análisis entre metodologías se puede concluir que, para un análisis arterial, dado el número de intersecciones, los volúmenes vehiculares, las condiciones geométricas, es recomendable usar el método del Manual de Capacidad de Carreteras, puesto que se puede incluir más información y obtener un tiempo de ciclo igual para cada intersección, puesto que con Webster da un tiempo de ciclo diferente a cada intersección de acuerdo al volumen vehicular.

En la siguiente Tabla 5.4 se muestra la comparativa de las demoras obtenidas con cada método y su respectivo nivel de servicio; mostrando que con Webster los tiempos de demora son muy bajos, lo que conlleva a un excelente nivel de servicio siendo "A" y "B" (recordando que no toma en consideración muchos factores adicionales), en cambio con el Manual de Capacidad de Carreteras se obtienen demoras bastante considerables, ya que, se toman en cuenta factores de castigo por presencia de vehículos

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

pesados, peatones, condiciones geométricas, entre otros, logrando niveles de servicio muy castigados siendo "C", "D" y "F", abriendo la posibilidad de propuestas de mejora.

Tabla 5.4. *Comparativa de demoras y Nivel de Servicio entre Metodologías.*

Demora por intersección y Nivel de Servicio con Webster y HCM						
Intersección	Webster			HCM		
	Demora por Intersección		Nivel de Servicio	Demora por Intersección		Nivel de Servicio
Isabel la Católica / Mesones	9.82	s/veh	A	195.93	s/veh	F
Isabel la Católica / República del Salvador	5.54	s/veh	A	24.07	s/veh	C
Isabel la Católica / República de Uruguay	9.58	s/veh	A	96.66	s/veh	F
Isabel la Católica / Venustiano Carranza	17.23	s/veh	B	40.04	s/veh	D

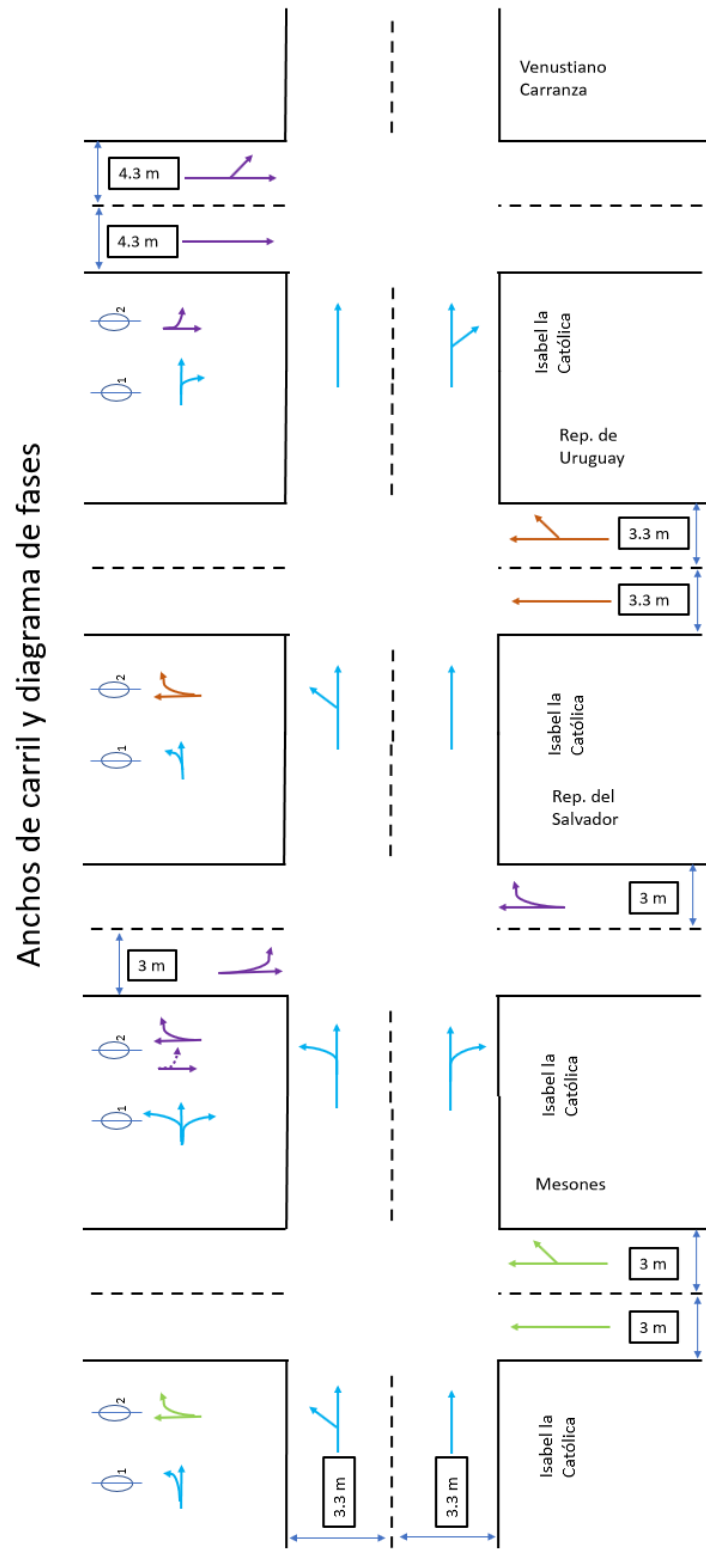
Fuente: Elaboración propia.

5.3 Cálculo de los tiempos de semáforo de cada intersección empleando el Método Manual.

Teniendo las siguientes longitudes de ancho de carril como se muestra en la Figura 5.14; también se muestran las fases que se manejan actualmente:

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.14. Anchos de carril y fases actuales.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Para calcular los tiempos de semáforo, primero se debe calcular el intervalo de cambio de fases, teniendo las siguientes consideraciones:

Donde:

- L= Longitud del vehículo
- t= Tiempo de percepción-reacción del conductor
- a= Tasa de desaceleración
- W= ancho de la intersección
- v= Velocidad

L= 6.1 m

t= 1 seg E-W, v= 40 km/h = 11.11 m/s W (E-W) = 10.4 m

a= 3.05 m/s² N-S, W= 40 km/h = 11.11 m/s W (S-N) = 9.6 m

Considerando un flujo de saturación de 1900 a/h/c

Se realiza la conversión del volumen de hora de máxima demanda (VHMD) a vehículos equivalentes (qADE), (este paso ya se realizó en el análisis de los aforos, por lo tanto, solo trasladamos las fórmulas). Siendo: qVI= Movimiento de giro a la izquierda (5); qD= Movimiento de frente (6); qVD= Movimiento de giro a la derecha (7); fvp= factor de vehículos pesados; Ev(I)= Automóviles directos equivalentes para vueltas a la izquierda; Ev(D)= Automóviles directos equivalentes para vueltas a la derecha².

- Para la intersección de I. la C./Mesones

Conversión del VHMD en qADE

Acceso S-N

qVI=

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(I)) \quad (5)$$

$$q_{ADE} = \frac{179}{0.81} \left(\frac{1}{0.96} \right) (1.05) = 240 \frac{a}{h}$$

qD=

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) \quad (6)$$

² Ev(I) y Ev(D), son factores que se utilizan para convertir automóviles que dan vuelta a automóviles directos equivalentes (qADE) (Cal & Mayor, 2018, p. 513)

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$q_{ADE} = \frac{813}{0.59} \left(\frac{1}{0.96} \right) = 1436 \frac{a}{h}$$

Acceso E-W

qD=

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{299}{0.80} \left(\frac{1}{0.98} \right) = 381 \frac{a}{h}$$

qVD=

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(D)) \quad (7)$$

$$q_{ADE} = \frac{127}{0.64} \left(\frac{1}{0.95} \right) (1.44) = 302 \frac{a}{h}$$

Ahora se calcula “y” que es el intervalo de cambio de fase, con la siguiente fórmula (8), que es el intervalo de cambio de fase, considerando la opción con TR y sin TR³ (TR = Todo Rojo).

Donde:

- y= Intervalo de cambio de fase
- t= Tiempo de percepción-reacción del conductor
- v= Velocidad de aproximación de los vehículos
- a= Tasa de desaceleración
- W= ancho de la intersección
- L= Longitud del vehículo

$$y = \left(t + \frac{v}{2(a)} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right) \quad (8)$$

a) Con TR

$$y1 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{9.6 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.41) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

$$y2 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{10.4 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.49) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

³ Conviene indicar que el cálculo con TODO ROJO es meramente indicativo, ya que es importante señalar que sólo en caso de que se tenga una gran cantidad de peatones es conveniente incluir este tiempo adicional en la programación del semáforo (Cal & Mayor, 2018), de otra manera, no se debe considerar en la operación, ya que es una demora adicional, que lo único que provocaría es que los usuarios no lo respeten.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$y_1 = 3 \text{ seg}$$

$$y_2 = 3 \text{ seg}$$

Ahora se calcula la longitud de ciclo óptimo con la fórmula (9).

Tiempo perdido por fase, donde:

- l_i = Tiempo perdido por fase
- y_i = Intervalo de cambio de fase
- A_i = Intervalo amarillo
- TR_i = Intervalo de Todo Rojo

$$l_i = y_i = A_i + TR_i \quad (9)$$

a) Con TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l_1 = y_1 = A_1 + TR_1 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l_2 = y_2 = A_2 + TR_2 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l_1 = y_1 = A_1 = 3 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l_2 = y_2 = A_2 = 3 \text{ seg}$$

Tiempo perdido por ciclo con la fórmula (10), donde:

$$L = \sum_{i=1}^{\rho} (A_i + TR_i) \quad (10)$$

a) Con TR

$$L = 4 + 4 = 8 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$L = 3 + 3 = 6 \text{ seg}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Flujo de saturación y tiempo perdido

Flujo de saturación (s) = 1900 a/h/c. aquí se determinan las máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (Cj o s) por carril para cada fase, teniendo dos carriles por acceso con la fórmula (11).

$$Y_i = \frac{q_i^{max}}{s} \quad (11)$$

Relaciones de flujo

Fase 1 S-N

$$Y_i = \frac{1676}{3800} = 0.44$$

Fase 2 W-E

$$Y_i = \frac{682}{3800} = 0.18$$

Cálculo de la longitud del ciclo óptimo con la fórmula (12). Donde:

- Co= ciclo óptimo
- L= Tiempo perdido por ciclo
- yi= Intervalo de cambio de fase

$$C_o = \frac{1.5(L) + 5}{1 - (\sum_{i=1}^4 y_i)} \quad (12)$$

a) Con TR

$$C_o = \frac{1.5(8) + 5}{1 - (0.44 + 0.18)} = 44.81 = 45 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$C_o = \frac{1.5(6) + 5}{1 - (0.44 + 0.18)} = 36.90 = 37 \text{ seg}$$

Cálculo del tiempo de verde efectivo (gT) con la fórmula (13), donde:

- gT= Tiempo de verde efectivo
- C= Longitud del ciclo óptimo
- L= Tiempo perdido por ciclo

$$gT = C - L \quad (13)$$

a) Con TR, Co = 45 seg

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$gT = 44.81 - 8 = 36.81 = 37 \text{ seg}$$

b) Sin TR, Co = 37 seg

$$gT = 36.90 - 6 = 30.90 = 31 \text{ seg}$$

Reparto del tiempo de verde (gi) con la fórmula (14):

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^3 Y_i} gT \quad (14)$$

Con TR para Co= 37 seg

$$g_1 = \frac{0.44}{0.44 + 0.18} (37) = 26.16 = 26 \text{ seg}$$

$$g_2 = \frac{0.18}{0.44 + 0.18} (37) = 10.65 = 11 \text{ seg}$$

Sin TR para Co= 31 seg

$$g_1 = \frac{0.44}{0.44 + 0.18} (31) = 21.96 = 22 \text{ seg}$$

$$g_2 = \frac{0.18}{0.44 + 0.18} (31) = 8.94 = 9 \text{ seg}$$

Tiempo asignado para cada fase

En las Figuras 5.15 y 5.16 se muestran las gráficas para el reparto de tiempos de semáforo con TR y sin TR para sus ciclos óptimos correspondientes, y en la Tabla 5.5 y 5.6 se indica el tiempo asignado a cada fase con TR y sin TR, respectivamente.

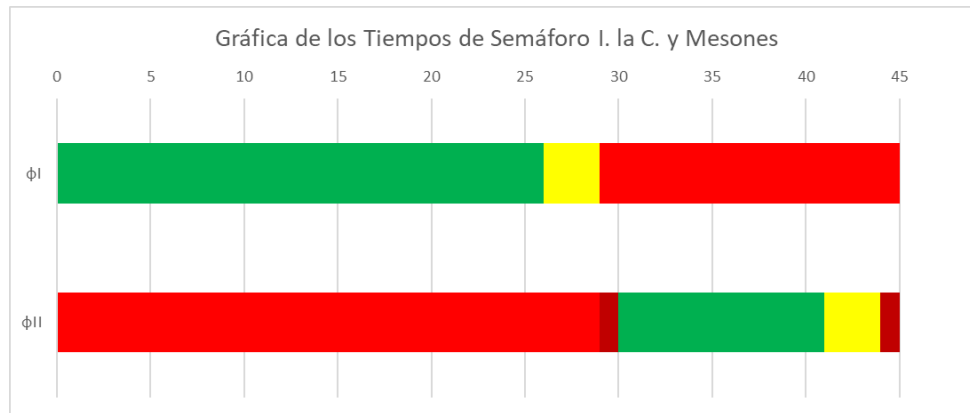
Tabla 5.5. *Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 45 seg.*

	Verde	Ámbar	Todo Rojo
Fase 1	26 seg	3 seg	1 seg
Fase 2	11 seg	3 seg	1 seg

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.15. Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Mesones.



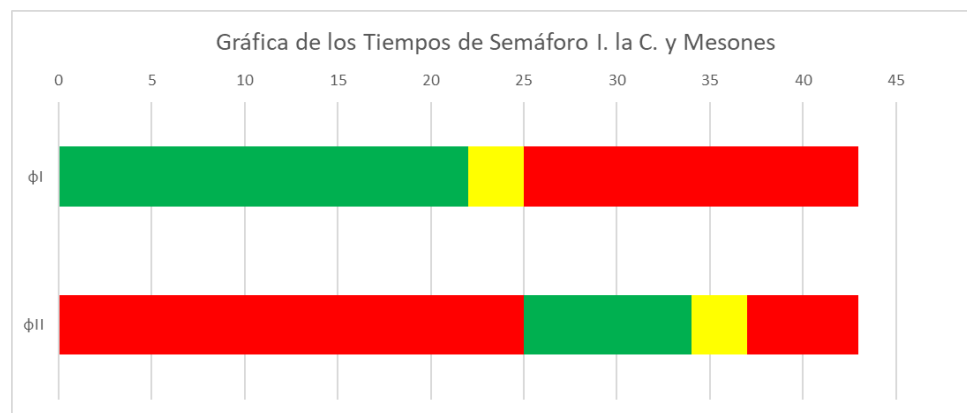
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.6. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; $C_0 = 43$ seg

	Verde	Ámbar
Fase 1	22 seg	3 seg
Fase 2	9 seg	3 seg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.16. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Mesones.



Fuente: Elaboración propia.

- Para la intersección de I. la C./Rep. del Salvador

Acceso S-N

q_{VI} (con fórmula 5) =

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(I)) = \frac{18}{0.90} \left(\frac{1}{1} \right) (1.05) = 21 \frac{a}{h}$$

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{835}{0.83} \left(\frac{1}{0.95} \right) = 1065 \frac{a}{h}$$

qVD (con fórmula 7) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(D)) = \frac{79}{0.90} \left(\frac{1}{1} \right) (1.23) = 108 \frac{a}{h}$$

Acceso E-W

qVI (con fórmula 5) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(I)) = \frac{72}{0.82} \left(\frac{1}{0.99} \right) (1.05) = 94 \frac{a}{h}$$

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{20}{0.83} \left(\frac{1}{0.5} \right) = 48 \frac{a}{h}$$

Acceso W-E

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{21}{0.88} \left(\frac{1}{0.5} \right) = 48 \frac{a}{h}$$

qVD (con fórmula 7) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(D)) = \frac{74}{0.80} \left(\frac{1}{0.95} \right) (1.22) = 118 \frac{a}{h}$$

A continuación, se calcula "y" con la siguiente fórmula (8), que es el intervalo de cambio de fase, considerando la opción con TR y sin TR (TR = Todo Rojo).

$$y = \left(t + \frac{v}{2(a)} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right)$$

a) Con TR

$$y1 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{9.5 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.40) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

$$y2 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{10.4 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.49) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$y1 = 3 \text{ seg}$$

$$y2 = 3 \text{ seg}$$

Ahora se calcula la longitud de ciclo óptimo con la fórmula (9):

Tiempo perdido por fase

$$l_i = y_i = A_i + TR_i$$

a) Con TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l1 = y1 = A1 + TR1 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l2 = y2 = A2 + TR2 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l1 = y1 = A1 = 3 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l2 = y2 = A2 = 3 \text{ seg}$$

Tiempo perdido por ciclo con la fórmula (10):

$$L = \sum_{i=1}^{\rho} (A_i + TR_i)$$

a) Con TR

$$L = 4 + 4 = 8 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$L = 3 + 3 = 6 \text{ seg}$$

Flujo de saturación y tiempo perdido

Flujo de saturación (s) = 1900 a/h/c. aquí se determinan las máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (Cj o s) por carril para cada fase, teniendo dos carriles por acceso con la fórmula (11).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$Y_i = \frac{q_i \max}{s}$$

Relaciones de flujo

Fase 1 S-N

$$Y_i = \frac{1194}{3800} = 0.31$$

Fase 2 W-E

$$Y_i = \frac{166}{1900} = 0.09$$

Cálculo de la longitud del Co con la fórmula (12):

$$C_o = \frac{1.5(L) + 5}{1 - (\sum_{i=1}^4 y_i)}$$

a) Con TR

$$C_o = \frac{1.5(8) + 5}{1 - (0.31 + 0.09)} = 28.42 = 28 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$C_o = \frac{1.5(6) + 5}{1 - (0.31 + 0.09)} = 23.4 = 23 \text{ seg}$$

Cálculo del tiempo de verde efectivo (gT) con la fórmula (13):

$$gT = C - L$$

a) Con TR, Co = 15 seg

$$gT = 28.42 - 8 = 20.42 = 20 \text{ seg}$$

b) Sin TR, Co = 12 seg

$$gT = 23.4 - 6 = 17.4 = 17 \text{ seg}$$

Reparto del tiempo de verde (gi) con la fórmula (14):

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^3 Y_i} gT$$

Con TR para Co= 20 seg

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$g1 = \frac{0.31}{0.31 + 0.09} (20) = 15.97 = 16 \text{ seg}$$

$$g2 = \frac{0.09}{0.31 + 0.09} (20) = 4.45 = 4 \text{ seg}$$

Sin TR para Co= 17 seg

$$g1 = \frac{0.31}{0.31 + 0.09} (17) = 13.61 = 14 \text{ seg}$$

$$g2 = \frac{0.09}{0.31 + 0.09} (17) = 3.79 = 4 \text{ seg}$$

Tiempo asignado para cada fase

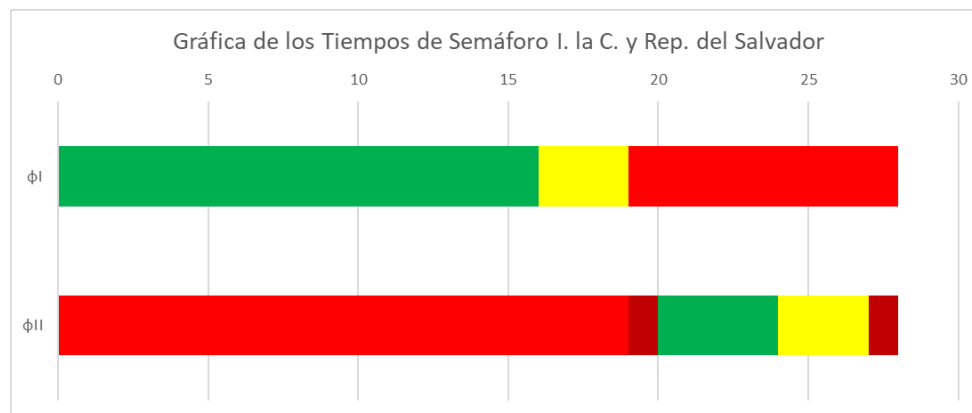
En las figuras 5.17 y 5.18 se muestran las gráficas para el reparto de tiempos de semáforo con TR y sin TR para sus ciclos óptimos correspondientes, y en la Tabla 5.7 y 5.8 se indica el tiempo asignado a cada fase con TR y sin TR, respectivamente.

Tabla 5.7. *Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 28 seg.*

	Verde	Ámbar	Todo Rojo
Fase 1	16 seg	3 seg	1 seg
Fase 2	4 seg	3 seg	1 seg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.17. *Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Rep. del Salvador.*



Fuente: Elaboración propia.

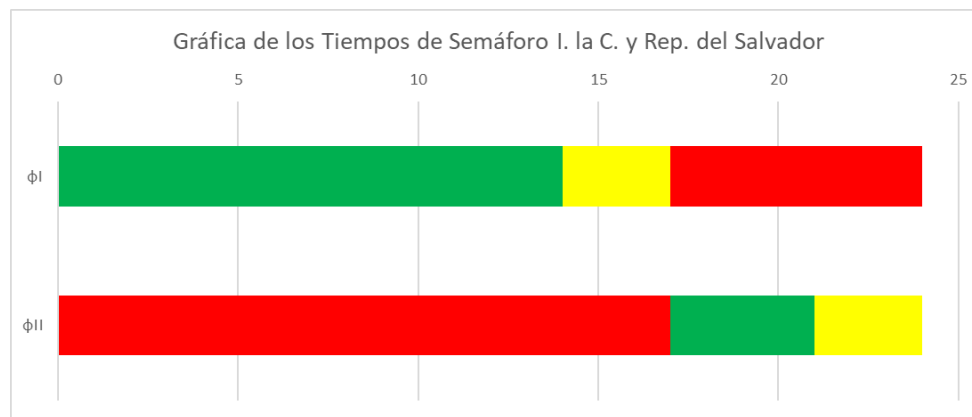
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 5.8. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 24 seg

	Verde	Ámbar
Fase 1	14 seg	3 seg
Fase 2	4 seg	3 seg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.18. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Rep. del Salvador.



Fuente: Elaboración propia.

- Para la intersección de I. la C./Rep. de Uruguay

Acceso S-N

qVI (con fórmula 5) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(I)) = \frac{224}{0.86} \left(\frac{1}{0.97} \right) (1.05) = 280 \frac{a}{h}$$

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{627}{0.89} \left(\frac{1}{0.96} \right) = 737 \frac{a}{h}$$

Acceso E-W

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{614}{0.86} \left(\frac{1}{0.98} \right) = 728 \frac{a}{h}$$

qVD (con fórmula 7) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(D)) = \frac{259}{0.84} \left(\frac{1}{0.98} \right) (1.21) = 381 \frac{a}{h}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

A continuación, se calcular “y” con la siguiente fórmula (8), que es el intervalo de cambio de fase, considerando la opción con TR y sin TR (TR = Todo Rojo).

$$y = \left(t + \frac{v}{2(a)} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right)$$

a) Con TR

$$y1 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{10.2 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.47) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

$$y2 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{14.2 + 5}{11.11} \right) = (2.82) + (1.49) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$y1 = 3 \text{ seg}$$

$$y2 = 3 \text{ seg}$$

Ahora se calcula la longitud de ciclo óptimo

Tiempo perdido por fase con la fórmula (9):

$$l_i = y_i = A_i + TR_i$$

a) Con TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l1 = y1 = A1 + TR1 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l2 = y2 = A2 + TR2 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l1 = y1 = A1 = 3 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l2 = y2 = A2 = 3 \text{ seg}$$

Tiempo perdido por ciclo con la fórmula (10):

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$L = \sum_{i=1}^{\rho} (A_i + TR_i)$$

a) Con TR

$$L = 4 + 4 = 8 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$L = 3 + 3 = 6 \text{ seg}$$

Flujo de saturación y tiempo perdido

Flujo de saturación (s) = 1900 a/h/c. aquí determinamos las máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (Cj o s) por carril para cada fase, teniendo dos carriles por acceso con la fórmula (11).

$$Y_i = \frac{q_i \text{max}}{s}$$

Relaciones de flujo

Fase 1 S-N

$$Y_i = \frac{1017}{3800} = 0.27$$

Fase 2 W-E

$$Y_i = \frac{1109}{3800} = 0.29$$

Cálculo de la longitud del Co con la fórmula (12):

$$C_o = \frac{1.5(L) + 5}{1 - (\sum_{i=1}^4 y_i)}$$

a) Con TR

$$C_o = \frac{1.5(8) + 5}{1 - (0.27 + 0.29)} = 38.59 = 39 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$C_o = \frac{1.5(6) + 5}{1 - (0.27 + 0.29)} = 31.78 = 32 \text{ seg}$$

Cálculo del tiempo de verde efectivo (gT) con la fórmula (13):

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$gT = C - L$$

a) Con TR, Co = 21 seg

$$gT = 38.59 - 8 = 30.59 = 31 \text{ seg}$$

b) Sin TR, Co = 16 seg

$$gT = 31.78 - 6 = 25.78 = 26 \text{ seg}$$

Reparto del tiempo de verde (gi) con la fórmula (14):

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^3 Y_i} gT$$

Con TR para Co= 31 seg

$$g_1 = \frac{0.27}{0.27 + 0.29} (31) = 14.63 = 15 \text{ seg}$$

$$g_2 = \frac{0.29}{0.27 + 0.29} (31) = 15.96 = 16 \text{ seg}$$

Sin TR para Co= 26 seg

$$g_1 = \frac{0.27}{0.27 + 0.29} (26) = 12.33 = 12 \text{ seg}$$

$$g_2 = \frac{0.29}{0.27 + 0.29} (26) = 13.45 = 14 \text{ seg}$$

Tiempo asignado para cada fase

En las figuras 5.19 y 5.20 se muestran las gráficas para el reparto de tiempos de semáforo con TR y sin TR para sus ciclos óptimos correspondientes, y en la Tabla 5.9 y 5.10 se indica el tiempo asignado a cada fase con TR y sin TR, respectivamente.

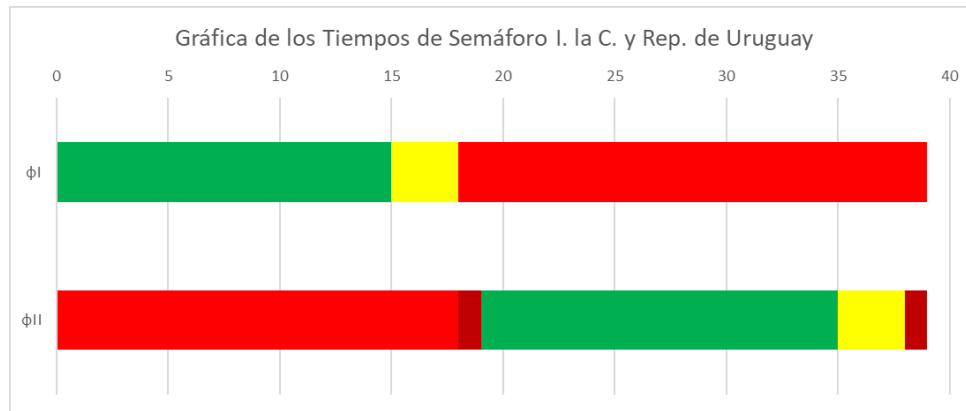
Tabla 5.9. *Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 39 seg.*

	Verde	Ámbar	Todo Rojo
Fase 1	15 seg	3 seg	1 seg
Fase 2	16 seg	3 seg	1 seg

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.19. Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Rep. de Uruguay.



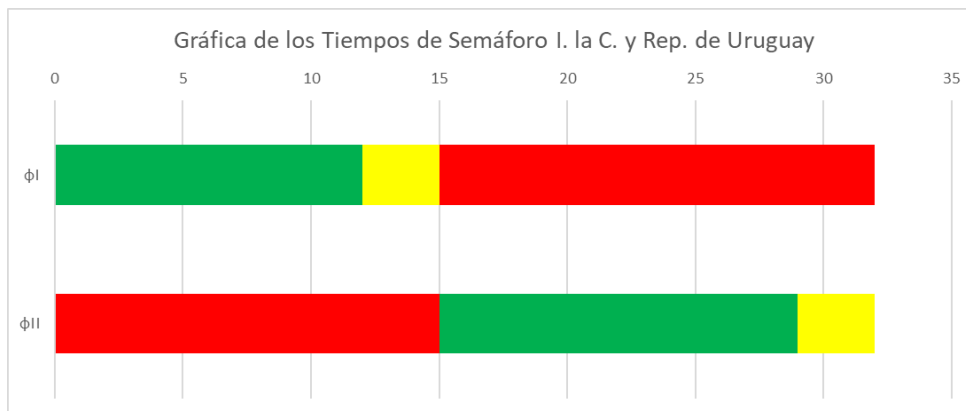
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.10. Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 31 seg

	Verde	Ámbar
Fase 1	12 seg	3 seg
Fase 2	14 seg	3 seg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.20. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Rep. de Uruguay.



Fuente: Elaboración propia.

- Para la intersección de I. la C./Venustiano Carranza

Acceso S-N

qVD (con fórmula 7) =

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(I)) = \frac{160}{0.89} \left(\frac{1}{0.99} \right) (1.98) = 361 \frac{a}{h}$$

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{812}{0.80} \left(\frac{1}{1} \right) = 1016 \frac{a}{h}$$

Acceso E-W

qD (con fórmula 6) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) = \frac{400}{0.89} \left(\frac{1}{0.95} \right) = 472 \frac{a}{h}$$

qVD (con fórmula 7) =

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHP} \left(\frac{1}{fvp} \right) (Ev(D)) = \frac{141}{0.95} \left(\frac{1}{0.98} \right) (1.05) = 159 \frac{a}{h}$$

A continuación, se calcula “y” con la siguiente fórmula (8), que es el intervalo de cambio de fase, considerando la opción con TR y sin TR (TR = Todo Rojo).

$$y = \left(t + \frac{v}{2(a)} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right)$$

a) Con TR

$$y1 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{9.6 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.41) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

$$y2 = \left(1 + \frac{11.11}{2(3.05)} \right) + \left(\frac{10.4 + 6.1}{11.11} \right) = (2.82) + (1.49) = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$y1 = 3 \text{ seg}$$

$$y2 = 3 \text{ seg}$$

Ahora se calcula la longitud de ciclo óptimo

Tiempo perdido por fase con la fórmula (9):

$$l_i = y_i = A_i + TR_i$$

a) Con TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l1 = y1 = A1 + TR1 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

a.2. Fase 2 W-E

$$l2 = y2 = A2 + TR2 = 3 + 1 = 4 \text{ seg}$$

b) Sin TR

a.1. Fase 1 S-N

$$l1 = y1 = A1 = 3 \text{ seg}$$

a.2. Fase 2 W-E

$$l2 = y2 = A2 = 3 \text{ seg}$$

Tiempo perdido por ciclo con la fórmula (10):

$$L = \sum_{i=1}^p (Ai + TRi)$$

a) Con TR

$$L = 4 + 4 = 8 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$L = 3 + 3 = 6 \text{ seg}$$

Flujo de saturación y tiempo perdido

Flujo de saturación (s) = 1900 a/h/c. aquí se determinan las máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (Cj o s) por carril para cada fase, teniendo dos carriles por acceso con la fórmula (11).

$$Yi = \frac{qi \max}{s}$$

Relaciones de flujo

Fase 1 S-N

$$Yi = \frac{1377}{3800} = 0.36$$

Fase 2 W-E

$$Yi = \frac{630}{3800} = 0.17$$

Cálculo de la longitud del Co con la fórmula (12):

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$Co = \frac{1.5(L) + 5}{1 - (\sum_{i=1}^4 yi)}$$

a) Con TR

$$Co = \frac{1.5(8) + 5}{1 - (0.36 + 0.17)} = 36.03 = 36 \text{ seg}$$

b) Sin TR

$$Co = \frac{1.5(6) + 5}{1 - (0.36 + 0.17)} = 29.67 = 30 \text{ seg}$$

Cálculo del tiempo de verde efectivo (gT) con la fórmula (13):

$$gT = C - L$$

a) Con TR, Co = 19 seg

$$gT = 36.03 - 8 = 28.03 = 28 \text{ seg}$$

b) Sin TR, Co = 15 seg

$$gT = 29.67 - 6 = 23.67 = 24 \text{ seg}$$

Reparto del tiempo de verde (gi) con la fórmula (14):

$$gi = \frac{Yi}{\sum_{i=1}^3 Yi} gT$$

Con TR para Co= 28 seg

$$g1 = \frac{0.36}{0.36 + 0.17} (28) = 19.23 = 19 \text{ seg}$$

$$g2 = \frac{0.17}{0.36 + 0.17} (28) = 8.80 = 9 \text{ seg}$$

Sin TR para Co= 24 seg

$$g1 = \frac{0.36}{0.36 + 0.17} (24) = 16.24 = 16 \text{ seg}$$

$$g2 = \frac{0.17}{0.36 + 0.17} (24) = 7.43 = 8 \text{ seg}$$

Tiempo asignado para cada fase

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

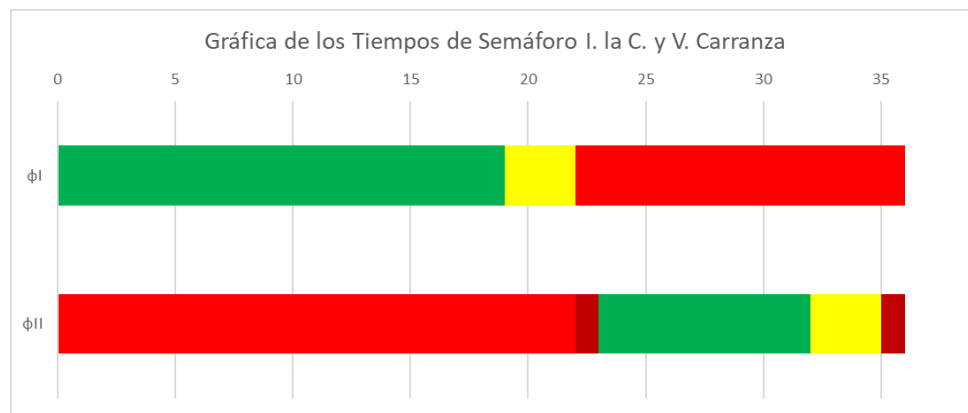
En las figuras 5.21 y 5.22 se muestran las gráficas para el reparto de tiempos de semáforo con TR y sin TR para sus ciclos óptimos correspondientes, y en la Tabla 5.11 y 5.12 se indica el tiempo asignado a cada fase con TR y sin TR, respectivamente.

Tabla 5.11. *Reparto de tiempo de semáforo Con TR; Co = 36 seg.*

	Verde	Ámbar	Todo Rojo
Fase 1	19 seg	3 seg	1 seg
Fase 2	9 seg	3 seg	1 seg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.21. *Reparto de tiempo de semáforo con TR para Isabel la Católica y Venustiano Carranza.*



Fuente: Elaboración propia.

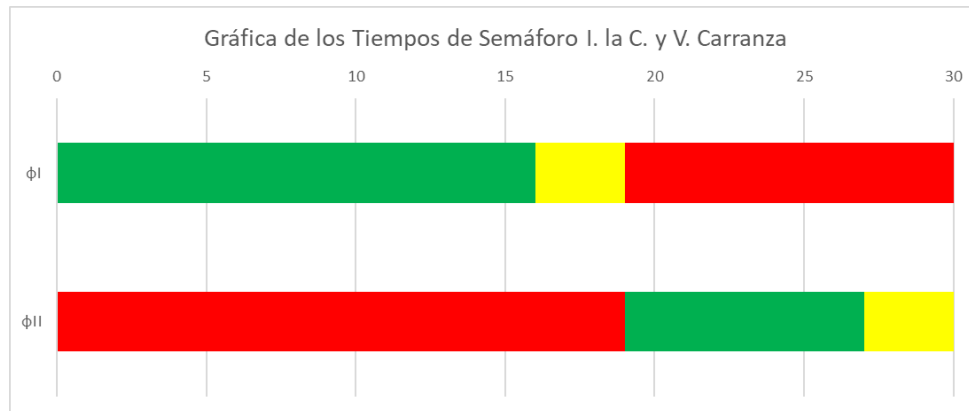
Tabla 5.12. *Reparto de tiempo de semáforo Sin TR; Co = 30 seg*

	Verde	Ámbar
Fase 1	16 seg	3 seg
Fase 2	8 seg	3 seg

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.22. Reparto de tiempo de semáforo sin TR para Isabel la Católica y Venustiano Carranza.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez terminado el reparto de tiempos semafóricos para cada intersección de la arteria, los resultados se muestran en la siguiente Tabla 5.13, donde se sugiere no utilizar los tiempos de todo rojo (TR), puesto que, tomando en cuenta la geometría de la arteria de análisis que cuenta únicamente con dos carriles y que el volumen peatonal es alto, se incrementaría el tiempo de ciclo en 1 segundo, generando demora adicional que no tendría el suficiente impacto para brindar un mayor tiempo de cruce peatonal, por tal motivo se recomienda utilizar la programación sin tiempo de todo rojo (TR); de este modo mientras la fase uno tiene la luz de siga (verde), la fase dos tendrá la luz de alto (rojo) y será tiempo suficiente para que los peatones puedan cruzar sin poner en riesgo su integridad física.

Tabla 5.13. Tiempo de ciclo con Webster comparado con situación actual.

	Tiempo de ciclo (T.C.) Actual			Webster con TR				Webster sin TR		
	Verde	Ámbar	T.C.	Verde	Ámbar	TR	T.C.	Verde	Ámbar	T.C.
I. la Católica	71	3	116	26	3	1	45	22	3	37
Mesones	39	3		11	3	1		9	3	
I. la Católica	60	3	111	16	3	1	28	14	3	24
Rep. Del S.	45	3		4	3	1		4	3	
I. la Católica	69	3	116	15	3	1	39	12	3	31
Rep. De U.	41	3		16	3	1		13	3	
I. la Católica	74	3	118	19	3	1	36	16	3	29
Venustiano C.	38	3		9	3	1		7	3	

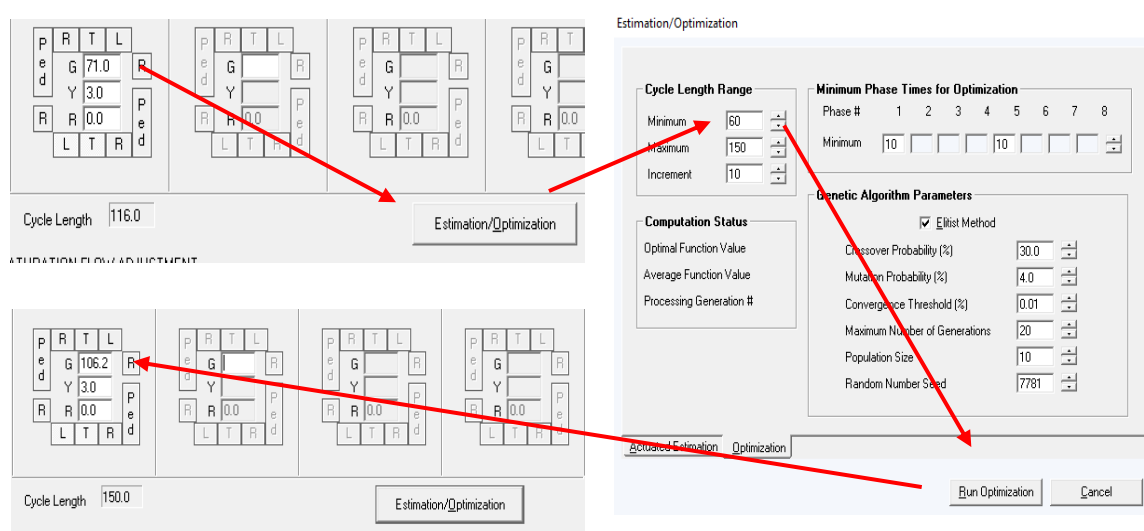
Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

5.4 Tiempo de ciclo propuestos por HCS y Synchro 6.0.

Estos softwares, tienen la opción de que, con los datos ingresados de los aforos, se puede asignar un tiempo de ciclo óptimo para cada intersección, como de modo arterial. En el software HCS en el apartado de Diseño de Fases, se encuentra un botón que dice Estimación/Optimización, y al dar clic, abre la ventana que se muestra en la Figura 5.23 en donde en la parte izquierda superior, indica por default el tiempo mínimo para la longitud de ciclo, el tiempo máximo y el incremento que puede ir de 10 segundos en 10 segundos, con opción a ingresar otro dato; posteriormente al dar clic en el botón de Ejecución de Optimización (Run Optimization), el software muestra el tiempo de ciclo para esa intersección.

Figura 5.23. Optimización de tiempo de ciclo en HCS.

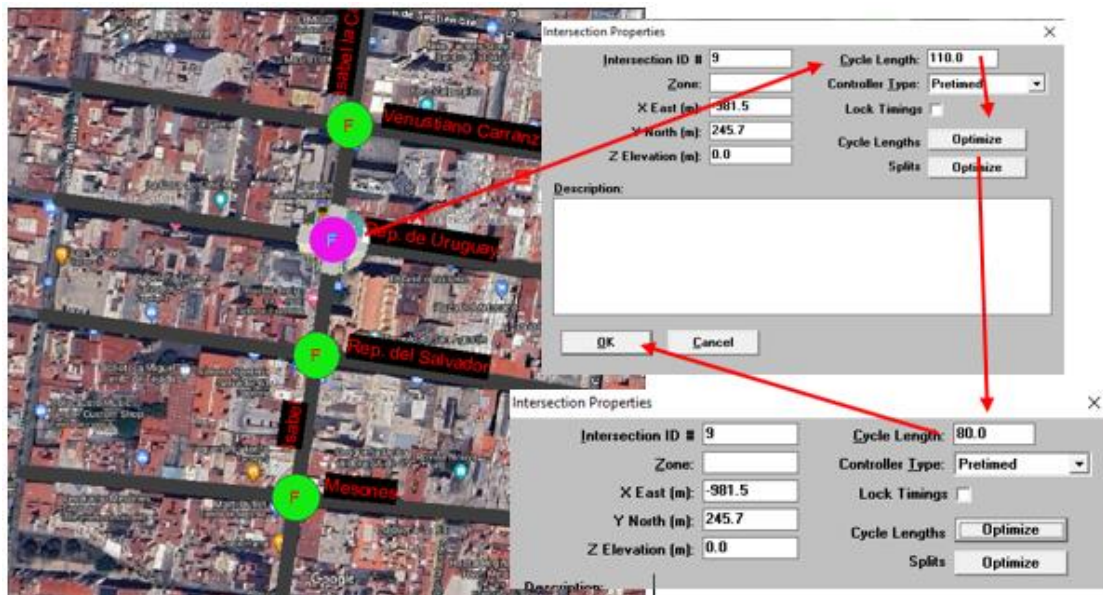


Fuente: Tomado de HCS+ con datos aforados.

En el software Synchro 6.0, el proceso para optimización por intersección una vez ingresados los datos, es el siguiente: en la ventana de mapa donde se visualiza toda la zona de análisis, se le da doble clic a una intersección a optimizar y aparece la siguiente ventana en donde en la parte derecha superior se muestra el tiempo de ciclo actual, en seguida, sólo hay que dar clic en el botón de Optimize a lado de “Cycle Lengths”, y el programa muestra el nuevo tiempo de ciclo, como se muestra en la Figura 5.24.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.24. Optimización de tiempo de ciclo en Synchro 6.0.



Fuente: Tomado de Synchro 6.0 con datos aforados.

A continuación, en la Tabla 5.14 se muestran los tiempos de ciclo optimizados de cada software, que en el caso del HCS es sólo de manera individual para cada intersección, y en el caso de Synchro 6.0 permite hacerlo de manera individual para cada intersección y de manera arterial.

Tabla 5.14. Comparativa del tiempo de ciclo actual con la optimización con HCS y Synchro 6.0.

	Tiempo fase Actual			Optimización HCS+ (x Intersección)			Optimización Synchro (x Intersección)			Optimización Synchro Arteria		
	Verde	Ámbar	T.C.	Verde	Ámbar	T.C.	Verde	Ámbar	T.C.	Verde	Ámbar	T.C.
I. la Católica	71	3	116	104	3	150	105	3	156	45	3	76
Mesones	39	3		40	3		45	3		25	3	
I. la Católica	60	3	111	36	3	60	42	3	76	42	3	76
Rep. Del S.	45	3		18	3		28	3		28	3	
I. la Católica	69	3	116	48	3	110	35	3	86	30	3	76
Rep. De U.	41	3		56	3		45	3		40	3	
I. la Católica	74	3	118	37	3	60	43	3	71	47	3	76
Venustiano C.	38	3		17	3		22	3		23	3	

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Por lo que, después de realizar la optimización del tiempo de ciclo con los softwares antes mencionados, se determina que el tiempo de ciclo optimizado por Synchro 6.0 de manera arterial es el más satisfactorio para mejorar el flujo de la arteria en análisis y así lograr una reducción en las demoras por los diferentes tiempos de ciclo que se tienen en la situación actual.

5.5 Reglaje mínimo peatonal con criterios del HCM 2000.

En este punto se van a utilizar los criterios del Manual de Capacidad de Carreteras del 2000 para calcular el reglaje mínimo para el cruce peatonal. En la siguiente Tabla 5.15 se muestran los totales peatonales aforados por intersección, por lo tanto, el HCM del 2000, indica un mínimo de 50-100 peatones para realizar este cálculo, y las operaciones se hicieron con los totales por acceso de cada intersección. En la Figura 5.25 se muestran las intersecciones con los anchos de cruce peatonal y las fases.

Tabla 5.15. Totales peatonales por intersección.

	Peatones por IS				Total x Intersección
	Acceso N	Acceso S	Acceso E	Acceso W	
Mesones	218	257	464	331	1270
Rep. Del S.	1186	1073	1083	1038	4380
Rep. De U.	505	458	472	449	1884
V. Carranza	472	412	448	421	1753

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del reglaje mínimo peatonal con el manual del 2000 se tienen las siguientes fórmulas que se utilizan para cada acceso, dependiendo el ancho del cruce peatonal; si es mayor a 3m se usa la fórmula (15); y si es menor o igual a 3m se usa la fórmula (16). Donde:

- G_p = Tiempo mínimo de verde (s)
- L = Longitud del paso de peatones (m)
- S_p = Velocidad media de peatones (m/s)
- W_e = Ancho efectivo del paso de peatones (m)
- 3.2= tiempo de inicio del paso de peatones (s)
- N_{ped} = Número de peatones que cruzan durante un intervalo

Si W_e es > 3 m

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(0.81 \frac{N_{ped}}{W_e} \right) \quad (15)$$

Si W_e es ≤ 3 m

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$Gp = 3.2 + \frac{L}{Sp} + (0.27N_{ped}) \quad (16)$$

Para la intersección de I. la C. y Mesones se tiene lo siguiente con la fórmula (15):

$$Gp_{AccE} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + \left(0.81 \frac{331}{3.6}\right) = 82.68 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccW} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + \left(0.81 \frac{464}{3.6}\right) = 112.6 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccN} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + \left(0.81 \frac{257}{3.3}\right) = 71.78 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccS} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + \left(0.81 \frac{218}{3.3}\right) = 62.21 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Rep. del Salvador se tiene lo siguiente con la fórmula (15):

$$Gp_{AccE} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + \left(0.81 \frac{1083}{3.1}\right) = 291.18 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccW} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + \left(0.81 \frac{1038}{3.1}\right) = 279.41 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccN} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + \left(0.81 \frac{1186}{3.3}\right) = 299.8 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccS} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + \left(0.81 \frac{1073}{3.6}\right) = 250.13 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Rep. de Uruguay se tiene lo siguiente con la fórmula (15):

$$Gp_{AccE} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + \left(0.81 \frac{472}{4}\right) = 103.78 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccW} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + \left(0.81 \frac{449}{4}\right) = 99.12 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccN} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + \left(0.81 \frac{505}{3.9}\right) = 113.6 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccS} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + \left(0.81 \frac{458}{3.7}\right) = 108.96 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Venustiano Carranza, como el ancho del cruce peatonal es menor a 3m, se tiene lo siguiente con la fórmula (16):

$$Gp_{AccE} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + (0.27 * 448) = 129.16 \text{ seg}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$Gp_{AccW} = 3.2 + \frac{6}{1.2} + (0.27 * 421) = 121.87 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccN} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + (0.27 * 472) = 136.14 \text{ seg}$$

$$Gp_{AccS} = 3.2 + \frac{6.6}{1.2} + (0.27 * 412) = 119.94 \text{ seg}$$

El reglaje mínimo peatonal forma una parte importante en la programación semafórica, puesto que, el tiempo de cruce peatonal debe ser el adecuado para no tener el riesgo de conflicto entre peatones y vehículos, además de generar interrupciones del flujo de vehículos. El tiempo del reglaje mínimo peatonal debe incluirse en la programación semafórica, y considerando los tiempos obtenidos que son demasiado altos (ver Tabla 5.16), retrasarían mucho el tránsito vehicular, por lo que para este trabajo no se agrega el reglaje mínimo peatonal a los tiempos semafóricos mostrados en el punto anterior.

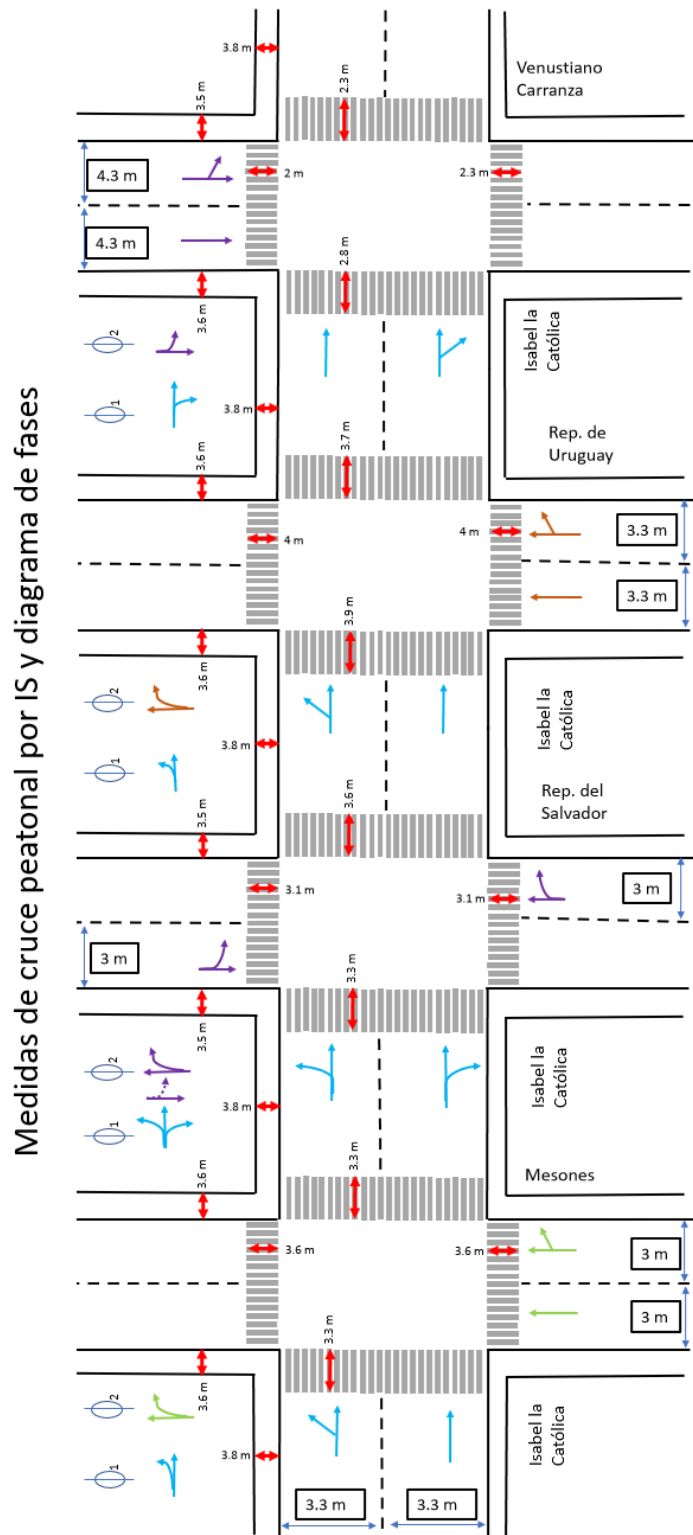
Tabla 5.16. *Reglaje mínimo peatonal por intersección.*

	T.C. Cruce Peatonal por IS (segundos)				
	Acceso. N	Acceso. S	Acceso. E	Acceso. W	Total IS
Mesones	71.78	62.21	82.68	112.6	329.27
Rep. Del S.	299.8	250.13	291.18	279.41	1120.52
Rep. De U.	113.6	108.96	103.78	99.12	425.46
V. Carranza	136.14	119.94	129.16	121.87	507.11

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 5.25. Medidas de los cruces peatonales por intersección.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

6 Diagnóstico operación vial actual: Análisis de cada intersección y a nivel arterial, con los criterios del HCM de 2000.

En este caso se utilizó el formato del capítulo 15 del manual del HCM 2000 (ver Anexo 5), donde se muestran los datos analizados por intersección para que de esta manera se pueda realizar el análisis arterial de estas intersecciones semaforizadas de Isabel la Católica en el tramo de Calle Mesones a Venustiano Carranza.

Para calcular el tiempo de recorrido se utilizaron los datos de la Tabla 15-3 (ver Anexo 6), dada la clase de arteria que es clase 4 y la velocidad de flujo libre de 40 km/h, el valor de acuerdo a la interpolación de los datos de la Tabla 15-3, es de 97.03 segundos por kilómetro. Donde este resultado de 97.03 se multiplicó por la longitud entre cada intersección; quedando para la primera intersección con una distancia de 0.08 km un TR de 7.76 s/km, para la segunda intersección con una distancia de 0.12 km un TR de 11.64 s/km, para la tercera intersección con una distancia de 0.1 km un TR de 9.7 s/km y, para la última intersección con una distancia de 0.091 km un TR de 8.83 s/km.

En seguida se procede a calcular los tiempos de demora de acuerdo al manual de capacidad de carreteras en su versión del 2000, que sería la demora 1 (demora uniforme) y la demora 2 (demora incremental):

Para la demora uniforme d_1 se tiene la siguiente fórmula (3). Donde:

- d_1 = Demora uniforme (s/veh)
- C = Duración del ciclo (s)
- g = Tiempo verde efectivo para el grupo de carriles (s)
- X = Relación v/c (volumen/capacidad) o grado de saturación para el grupo de carriles

$$d_1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - (\frac{g}{C}) \min(X, 1)}$$

Usando los datos del formato, queda de la de la siguiente forma para la intersección de I. la C. y Mesones:

$$d_1 = \frac{0.5(116)(1 - 0.61)^2}{1 - (1)(0.61)} = 22.50 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Rep. del Salvador se tiene:

$$d_1 = \frac{0.5(111)(1 - 0.54)^2}{1 - (0.90)(0.54)} = 22.91 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Rep. de Uruguay se tiene:

$$d_1 = \frac{0.5(116)(1 - 0.59)^2}{1 - (0.66)(0.59)} = 15.62 \text{ seg}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Para la intersección de I. la C. y Venustiano Carranza se tiene:

$$d1 = \frac{0.5(118)(1 - 0.63)^2}{1 - (0.86)(0.63)} = 17.87 \text{ seg}$$

En seguida, para el factor de ajuste de semáforo "k", se revisa la Tabla 15-6 (ver Anexo 6). Donde por tener semáforo predeterminado usamos el valor de 0.5.

Para el factor "l", se revisa la Tabla 15-7 (ver Anexo 6). Por la presencia de intersecciones "aguas arriba", donde para la primer intersección con la calle de Mesones, considerando que no cuenta con alguna otra intersección el valor sería de 1, para la siguiente intersección con República del Salvador se considera el valor de la relación intensidad/capacidad (I/C), y como es de 0.90, le corresponde el valor de 0.314; para la siguiente intersección con República de Uruguay con un valor de la relación I/C de 0.66, le corresponde el valor de 0.697 y para la última intersección con Venustiano Carranza con un valor de relación I/C de 0.86, le corresponde el valor de 0.388.

Para la demora incremental d2 se tiene la siguiente fórmula (4). Donde:

- d2= Demora incremental (s/veh)
- T= Duración del período de análisis (h);
- k= Factor de demora incremental
- l= Factor de ajuste por semáforos aguas arriba
- c= Capacidad del grupo de carriles (veh/h)
- X= Relación v/c (volumen/capacidad) o grado de saturación

$$d2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{\left[(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT} \right]} \right]$$

Usando los datos del formato, queda de la de la siguiente forma para la intersección de I. la C. y Mesones:

$$d2 = 900(0.25) \left[(1.49 - 1) + \sqrt{\left[(1.49 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(1.49)}{(1900 * 0.25)} \right]} \right] = 222.76 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Rep. del Salvador se tiene:

$$d2 = 900(0.25) \left[(0.90 - 1) + \sqrt{\left[(0.90 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(0.314)(0.90)}{(1900 * 0.25)} \right]} \right] = 2.63 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Rep. de Uruguay se tiene:

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

$$d2 = 900(0.25) \left[(0.66 - 1) + \sqrt{\left[(0.66 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(0.697)(0.66)}{(1900 * 0.25)} \right]} \right] = 1.25 \text{ seg}$$

Para la intersección de I. la C. y Venustiano Carranza se tiene:

$$d2 = 900(0.25) \left[(0.86 - 1) + \sqrt{\left[(0.86 - 1)^2 + \frac{8(0.5).388)(0.86)}{(1900 * 0.25)} \right]} \right] = 2.22 \text{ seg}$$

A continuación, se calculó el tiempo de viaje de cada segmento (de cada intersección), en donde se suma el T_R de cada intersección con su demora, siendo para la primera intersección un total de 230.53 s, para la segunda intersección un total de 14.28 s, para la tercera intersección un total de 10.95 s y para la última intersección un total de 11.05 s.

En seguida se calculó la velocidad de viaje del segmento (de cada intersección), dividiendo el tiempo de viaje entre la multiplicación de 3600 s (los segundos que cubren 1h) por la longitud de cada segmento; para la primera intersección se tiene una velocidad de 1.25 km/h, para la segunda intersección se tiene una velocidad de 30.26 km/h, para la tercera intersección se tiene una velocidad de 32.87 km/h y para la última intersección se tiene una velocidad de 29.64 km/h. Con estas velocidades se tiene los siguientes niveles de servicio para cada intersección como se muestra en la siguiente Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Nivel de servicio por segmento.

	I. La C. / Mesones	I. La C. / Rep. Del Salvador	I. La C. / Rep. De Uruguay	I. La C. / V. Carranza
Tiempo de viaje del segmento	230.53 s	14.28 s	10.95 s	11.05 s
Velocidad de viaje del segmento	1.25 km/h	30.26 km/h	32.87 km/h	29.64 km/h
Nivel de servicio	F	D	C	D

Fuente: Elaboración propia.

Por último del análisis arterial se determina el nivel de servicio por las cuatro intersecciones analizadas, donde primero se hace la sumatoria del tiempo de viaje (ST), siendo un total de 266.81 s, en seguida se tiene la sumatoria de las longitudes de cada segmento (intersección), siendo un total de 0.391 km, después se tiene la velocidad de viaje total (SA) siendo la multiplicación de 3600 s por la longitud total dividido entre el tiempo de viaje total, obteniendo una velocidad de 5.28 km/h; y finalmente determinando el nivel de servicio de acuerdo a la velocidad, se tiene un nivel de servicio F; estos datos se muestran en la Tabla 6.2. El formato completo puede revisarse en el Anexo 5.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 6.2. Nivel de servicio arterial.

Tiempo de viaje total ST (s)	266.81
Longitud total (km)	0.391
Velocidad de viaje total (km/h)	5.28
Nivel de servicio	F

Fuente: Elaboración propia.

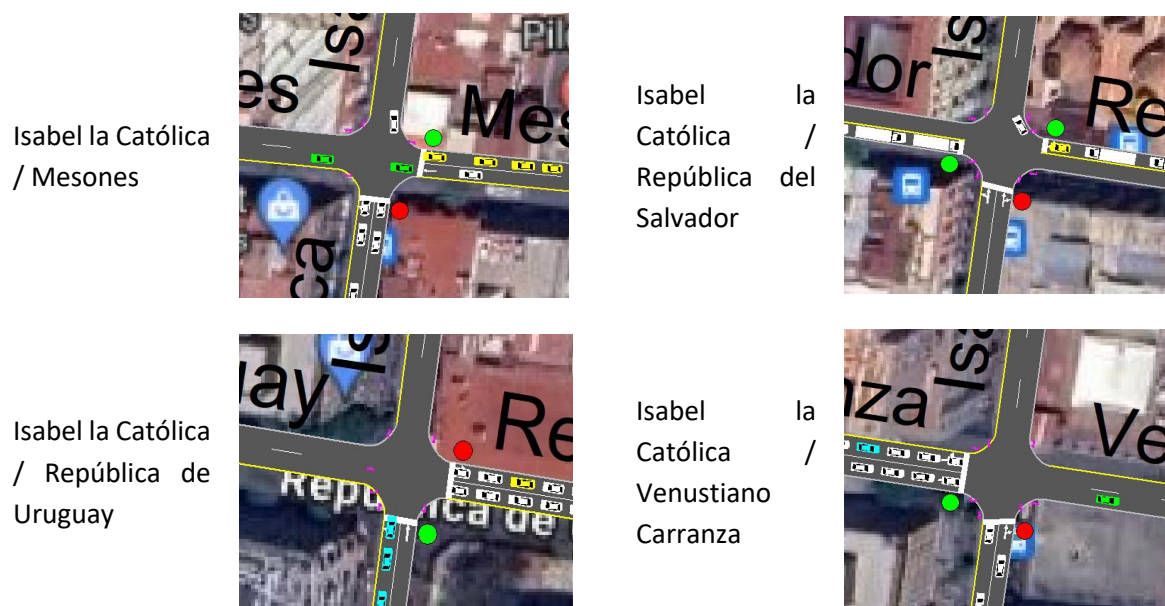
El nivel de servicio F, según las definiciones del HCM 2000, indican que el funcionamiento de la arteria es sobre saturado, puesto que, el flujo vehicular aforado rebasa la capacidad de la vialidad, y es por esto que se presenta el congestionamiento y los altos tiempos de demora, en conjunto con la desincronización semafórica.

Este análisis operativo, también se realizó en el software Synchro 6.0, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en el siguiente punto.

6.1 Diagnóstico de la operación actual con Synchro versión 6.0.

En este apartado se ingresaron los volúmenes cuadrados para obtener los resultados de las condiciones actuales del corredor semaforzado, y las condiciones geométricas (ver Figura 6.1), y con estos aforos registrados en el software Synchro, se puede obtener la utilización de la capacidad de la intersección (ICU), y el nivel de servicio actuales (ver Figura 6.2).

Figura 6.1. Condiciones geométricas actuales de la zona de análisis.



Fuente: Elaboración propia diseñada en Synchro 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 6.2. ICU y Nivel de Servicio de las condiciones actuales.



Fuente: Elaboración propia diseñada en Synchro 6.

Observando que son porcentajes de ocupación bastante elevados y un nivel de servicio crítico; en la Tabla 6.3 se muestran los datos de las demoras y nivel de servicio y en la Figura 6.3 se representan las demoras de las condiciones actuales.

Tabla 6.3. Demoras de las condiciones actuales.

	Estado actual			
	Approach Delay (seg)	Nivel de Servicio (Intersección)	Nivel de Servicio (Arteria)	ICU
I. la Católica	273.7	F	F	81%
Mesones	103.4			
I. la Católica	36.3	D	F	66.70%
Rep. Del S. (Este)	44.5			
Rep. Del S. (Oeste)	28.2			
I. la Católica	17	F	F	80.50%
Rep. De U.	267.6			
I. la Católica	24.4	C	F	70.3
Venustiano C.	40.5			

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 6.3. Demoras de las condiciones actuales.



Fuente: Elaboración propia diseñada en Synchro 6.

En la Tabla 6.4 se muestran los datos del consumo de combustible por la hora de máxima demanda y en la Tabla 6.5 las emisiones por la hora de máxima demanda (HMD), registradas por el software, siendo datos elevados, dado que las condiciones actuales indican que el corredor semaforzado se encuentra rebasado de su capacidad. En la Figura 6.4 se muestra la representación gráfica del combustible y en la Figura 6.5 la representación gráfica de las emisiones.

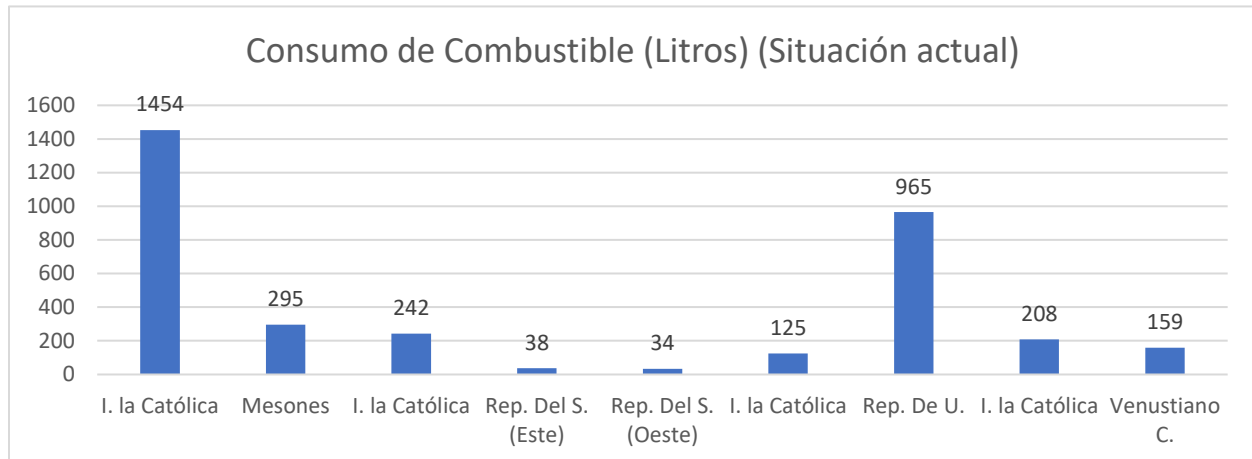
Tabla 6.4. Consumo de combustible en las condiciones actuales de flujo vehicular.

	Gasolina Actual (x HMD)	
	Galones	Litros
I. la Católica	384	1454
Mesones	78	295
I. la Católica	64	242
Rep. Del S. (Este)	10	38
Rep. Del S. (Oeste)	9	34
I. la Católica	33	125
Rep. De U.	255	965
I. la Católica	55	208
Venustiano C.	42	159

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 6.4. Consumo de combustible en las condiciones actuales de flujo vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.5. Registro de emisiones en las condiciones actuales de flujo vehicular.

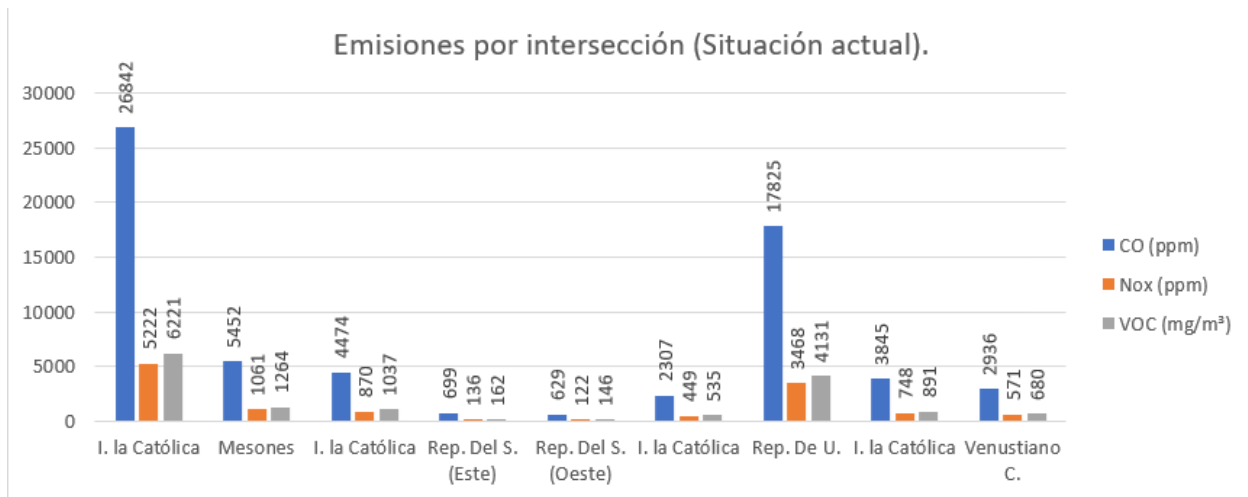
	Emisiones Actuales (x HMD) ⁴		
	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)
I. la Católica	26842	5222	6221
Mesones	5452	1061	1264
I. la Católica	4474	870	1037
Rep. Del S. (Este)	699	136	162
Rep. Del S. (Oeste)	629	122	146
I. la Católica	2307	449	535
Rep. De U.	17825	3468	4131
I. la Católica	3845	748	891
Venustiano C.	2936	571	680

Fuente: Elaboración propia.

⁴ En las condiciones actuales la vialidad esta sobresaturada, con congestionamiento, altos tiempos de demora y desincronización semafórica, con un nivel de servicio F.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 6.5. Emisiones en las condiciones actuales de flujo vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

Estos datos son de suma importancia para toda la población y usuarios, teniendo como contaminantes los óxidos de nitrógenos (NOx), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Con información del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2009), se tienen las siguientes definiciones para estos gases contaminantes:

- Óxido de nitrógeno (NOx). Es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al bióxido de nitrógeno (NO₂) y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. Se forman en condiciones de alta temperatura y presión con exceso de aire. Provocan daño a la salud; además de ser un precursor del ozono junto con los COV's, el NOx contribuye a otros efectos, nocivos como el daño pulmonar, disminuyendo los mecanismos pulmonares de defensa; incrementa la permeabilidad del epitelio bronquial, y de la membrana de los alvéolos pulmonares.
- Monóxido de carbono (CO). Es un gas incoloro e inoloro que se produce por la incompleta combustión del carbón contenido en el combustible. Afecta la salud cuando se une irreversiblemente a la hemoglobina, disminuyendo así su capacidad para transportar oxígeno a los tejidos. Afecta la capacidad de trabajo físico e intelectual, ocasionando alteraciones en los sistemas nerviosos y cardiovasculares. Inhibe el sistema enzimático que metaboliza fármacos. De cada 1000 litros de gasolina quemada por los automóviles, resultan casi 375 kg de monóxido de carbono emanados a la atmósfera.
- Compuestos orgánicos volátiles (COV). Incluyen una amplia gama de compuestos químicos. Son generados por la combustión incompleta. Afectan directamente a la salud; y reaccionan en la atmósfera junto con los NOx con la luz solar generando ozono a nivel del suelo. El efecto tóxico del ozono se debe a su capacidad para liberar radicales libres, los cuales producen la oxidación de ácidos grasos no saturados en células pulmonares.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

En este análisis por intersección y a nivel arterial, se obtuvieron los niveles de servicio que se muestran en la Tabla 6.6, que brindan niveles de servicio diferentes, puesto que, con el HCM utilizan fórmulas y principios matemáticos para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras, como el volumen de tráfico por un periodo de tiempo, las características de la vialidad, y factores de ajuste de acuerdo a las características del aforo, como los vehículos pesados, pendientes, entre otros. Mientras que con Synchro 6.0, además de los factores del HCM, también incluye el análisis semafórico, el análisis por intersección y a nivel arterial y el comportamiento de conductores.

Siendo que el nivel de servicio por intersección del HCM, en la primera y tercera intersección la indica como la más congestionada teniendo un nivel de servicio "F", indicando que el flujo vehicular sobrepasa la capacidad de la vialidad, mientras que en la segunda intersección, al contar con el carril exclusivo del Metrobús solo se tiene el movimiento de frente por lo que nos da un nivel de servicio "D" indicando que está próximo a llegar a la capacidad, y en la última intersección nos indica un nivel de servicio "C" dado que, al ser la última intersección ya no hay otros flujos que entren en conflicto para este análisis.

Para el análisis arterial del HCM, los niveles de servicio cambian, puesto que al considerar las cuatro intersecciones y factores adicionales como el tiempo de viaje del segmento, la velocidad del viaje, da un nivel de servicio "F" para la primera intersección, indicando que su capacidad está rebasada; un nivel de servicio "D" para la segunda y tercera intersección indica que se tiene congestión pero está próxima a llegar a la capacidad y un nivel de servicio "E" para la última intersección, lo que indica que está en su capacidad.

Y por último los niveles de servicio con Synchro 6.0, cambian a diferencia de los obtenidos con el HCM, puesto que, en este análisis en todas las intersecciones da un nivel de servicio "F", indicando que toda la arteria está colapsada. Por lo tanto, se concluye que, el software Synchro 6.0, se acerca más a las condiciones reales con la simulación, representando el comportamiento de la arteria de análisis con respecto a los datos de aforo.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 6.6. Comparativa de nivel de servicio con HCM y Synchro 6.0

	Nivel de Servicio Situación Actual		
	HCM por intersección	HCM Arterial	Synchro Arterial
I. la Católica Mesones	F	F	F
I. la Católica Rep. Del S. (Este) Rep. Del S. (Oeste)	D	D	F
I. la Católica Rep. De U.	F	D	F
I. la Católica Venustiano C.	C	E	F

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

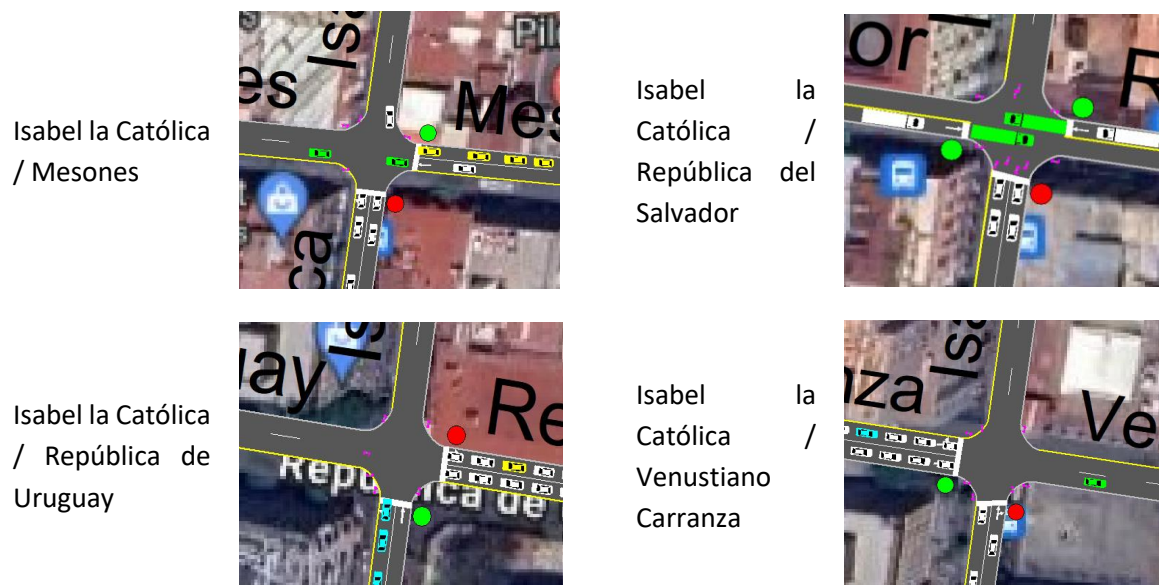
7 Escenarios de Mejoramiento.

Con los niveles de servicio obtenidos en el análisis por intersección y a nivel arterial, es evidente que se necesitan propuestas de escenarios de mejoramiento, para optimizar el flujo de la arteria con una sincronización de semáforos, el aumento de carriles y la restricción del paso de vehículos pesados, todo esto con ayuda del software Synchro 6.0; en el punto 7.4 se describe a detalle la comparativa de estos escenarios de mejoramiento. A continuación, se desarrollan a detalle los tres escenarios de mejora.

7.1 Mejora de bajo costo M1.

En este primer escenario de mejora, se plantea el aprovechamiento de la infraestructura ya existente, es decir, la señalización de tránsito y semaforización, canalización del tránsito de acuerdo a la demanda. Restringiendo el paso de vehículos pesados sobre la calle principal (Isabel la Católica) o bien rediriéndolo hacia otra calle aledaña y sobre República del Salvador para permitir sólo el paso del MB restringiendo el paso de vehículos particulares; sin olvidar el tiempo de ciclo mejorado para cada cruce de la arteria de análisis. En la Figura 7.1 se muestran las condiciones geométricas de la mejora de bajo costo. Con esta propuesta de bajo costo, se obtiene una mejora en la utilización de la capacidad de la intersección (ICU) y en los niveles de servicio (ver Figura 7.2).

Figura 7.1. Condiciones geométricas de la mejora de bajo costo.



Fuente: Elaboración propia diseñada en Synchro 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.2. ICU y Nivel de Servicio de la mejora de bajo costo.



Elaboración propia con Synchro 6.

Al restringir el paso de vehículos pesados sobre Isabel la Católica y en República del Salvador dejar únicamente el paso del Metrobús, las demoras disminuyen junto con una leve mejoría en el nivel de servicio y en la utilización de la capacidad de la intersección como se muestra en la siguiente Tabla 7.1, en la Figura 7.3 se muestra la representación de las demoras para cada intersección.

Tabla 7.1. Demoras, ICU y Nivel de Servicio con la mejora de bajo costo.

	Mejora 1 (bajo costo)			
	Approach Delay (seg)	Nivel de Servicio (Intersección)	Nivel de Servicio (Arterial)	ICU
I. la Católica	260.4	F	F	81%
Mesones	101.7			
I. la Católica	10.8	B	C	53%
Rep. Del S. (Este)	30.4			
Rep. Del S. (Oeste)	34.4	C	D	80.50%
I. la Católica	20.8			
Rep. De U.	32.8	B	C	70.30%
I. la Católica	14.1			
Venustiano C.	30.9			

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.3. Demoras de la mejora de bajo costo por intersección.



Elaboración propia con Synchro 6.

En la Tabla 7.2 se muestran los datos del consumo de combustible⁵ y en la Tabla 7.3 las emisiones⁶ registradas por el software, siendo datos elevados dado que las condiciones con la mejora de bajo costo, indican que el corredor semaforizado aún presenta congestión y malos niveles de servicio, en la Figura 7.4 se muestra su representación gráfica del combustible y en la Figura 7.5 la representación gráfica de las emisiones.

⁵ El consumo de combustible es el registrado por el software Synchro para la simulación de la hora de máxima demanda, presentando todavía un nivel de servicio malo por congestión, y teniendo sólo el paso del Metrobús, con el tiempo de ciclo optimizado aún se tienen demoras elevadas en comparación con la situación actual.

⁶ En comparativa con la condición actual, la generación de emisiones contaminantes disminuye desde un 3% hasta un 73% de acuerdo a cada acceso.

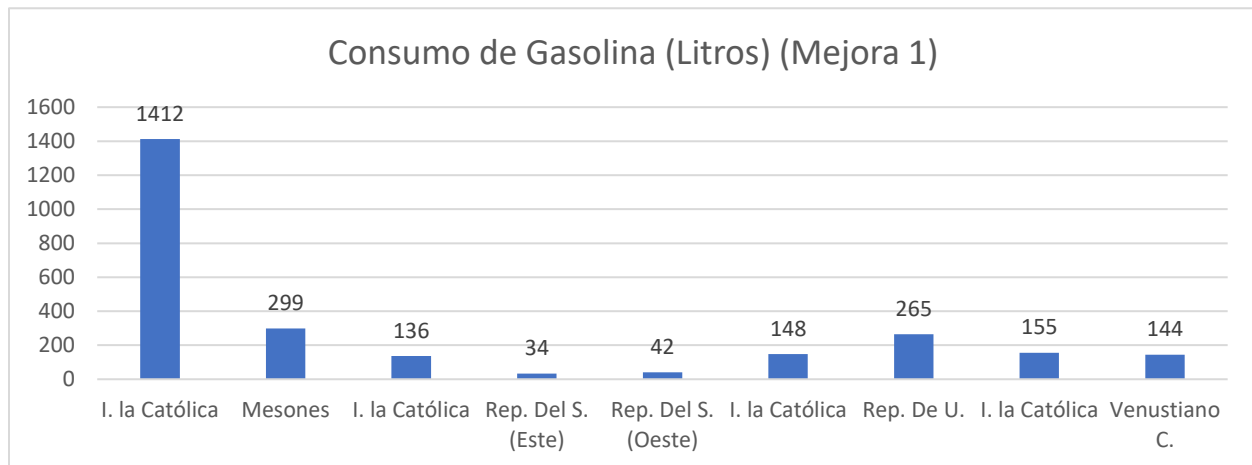
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 7.2. Consumo de combustible del flujo vehicular con la mejora de bajo costo.

	Gasolina M1 (x HMD)	
	Galones	Litros
I. la Católica	373	1412
Mesones	79	299
I. la Católica	36	136
Rep. Del S. (Este)	9	34
Rep. Del S. (Oeste)	11	42
I. la Católica	39	148
Rep. De U.	70	265
I. la Católica	41	155
Venustiano C.	38	144

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.4. Representación del consumo de combustible con la mejora de bajo costo.



Fuente: Elaboración propia.

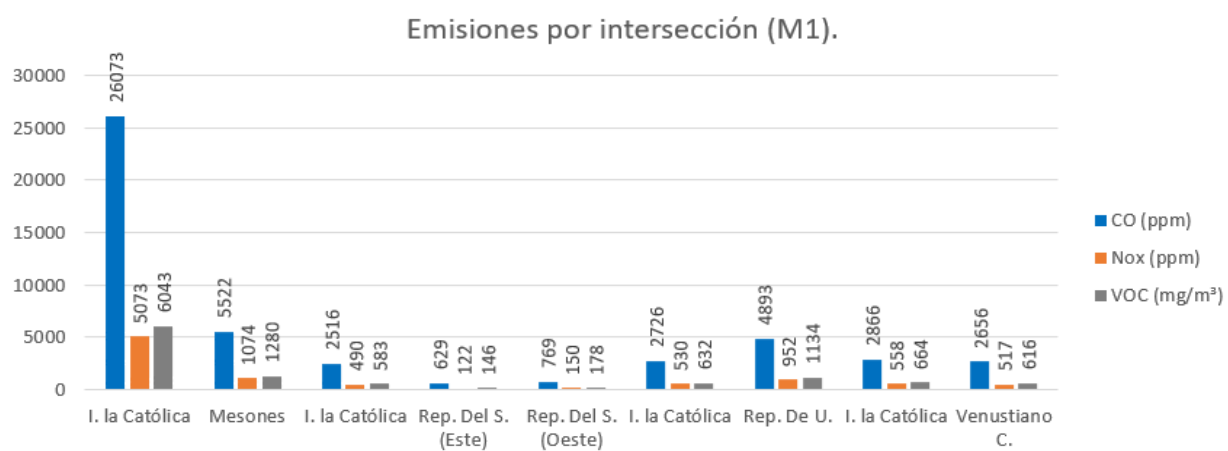
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 7.3. *Emisiones contaminantes con la mejora de bajo costo.*

	Emisiones M1 (x HMD)		
	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)
I. la Católica	26073	5073	6043
Mesones	5522	1074	1280
I. la Católica	2516	490	583
Rep. Del S. (Este)	629	122	146
Rep. Del S. (Oeste)	769	150	178
I. la Católica	2726	530	632
Rep. De U.	4893	952	1134
I. la Católica	2866	558	664
Venustiano C.	2656	517	616

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.5. *Representación de emisiones contaminantes con la mejora de bajo costo.*



Fuente: Elaboración propia.

7.2 Mejora de mediano costo M2.

Para este segundo escenario de mejora, se plantea modificar la infraestructura existente, es decir, para mejorar el funcionamiento del cruce, poca fluidez vehicular y peatonal. Proponiendo un ensanchamiento de vía para los movimientos de giro en cada acceso de la arteria en análisis, ya que con las condiciones existentes el radio de giro es reducido y los vehículos deben bajar mucho la velocidad para hacer la maniobra; sin olvidar el paso peatonal y los flujos de bicicletas, el repintado del balizado y señalización y la mejora del tiempo de ciclo de semáforos.

En la siguiente Figura 7.6 se muestran las condiciones geométricas para esta mejora de mediano costo para cada intersección; aquí la intersección con República del Salvador no se harán cambios geométricos.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Con esta propuesta de bajo costo, se obtiene una mejora en los niveles de servicio y en la utilización de la capacidad de la intersección (ICU) (ver Figura 7.7).

Figura 7.6. Condiciones geométricas de la mejora de mediano costo.



Fuente: Elaboración propia diseñada en Synchro 6.

Figura 7.7. ICU y Nivel de Servicio de la mejora de mediano costo.



Elaboración propia con Synchro 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Al restringir el paso de vehículos pesados y con el ensanchamiento de carril para los movimientos de giro, las demoras disminuyen junto con una mejoría en el nivel de servicio y en la utilización de la capacidad de la intersección como se muestra en la siguiente Tabla 7.4, y en la Figura 7.8 se muestra la representación de las demoras para cada intersección.

Tabla 7.4. Demoras, ICU y Nivel de Servicio con la mejora de mediano costo.

	Mejora 2 (medio costo)			
	Approach Delay (seg)	Nivel de Servicio (Intersección)	Nivel de Servicio (Arterial)	ICU
I. la Católica	147.1	F	F	71.50%
Mesones	77.2			
I. la Católica	18.4	B	C	46.70%
Rep. Del S. (Este)	18.2			
Rep. Del S. (Oeste)	18			
I. la Católica	7.7	B	B	64.20%
Rep. De U.	23.4			
I. la Católica	7.5	B	B	52.40%
Venustiano C.	24.7			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.8. Demoras de la mejora de mediano costo por intersección.



Elaboración propia con Synchro 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

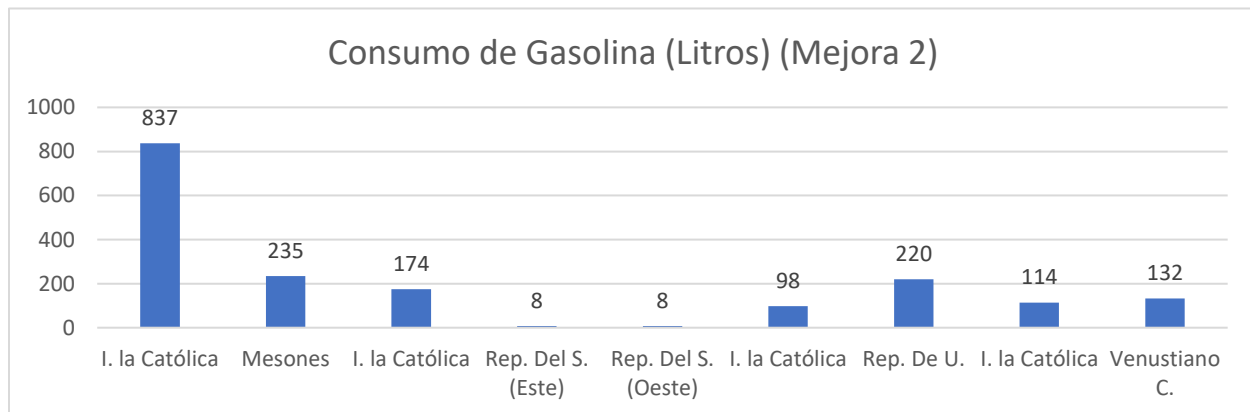
En la Tabla 7.5 se muestran los datos del consumo de combustible⁷ y en la Tabla 7.6 las emisiones registradas por el software para esta segunda propuesta de solución y en las Figuras 7.9 y 7.10 se muestran gráficamente su comportamiento.

Tabla 7.5. Consumo de combustible del flujo vehicular con la mejora de mediano costo.

	Gasolina M2 (x hora)	
	Galones	Litros
I. la Católica	221	837
Mesones	62	235
I. la Católica	46	174
Rep. Del S. (Este)	2	8
Rep. Del S. (Oeste)	2	8
I. la Católica	26	98
Rep. De U.	58	220
I. la Católica	30	114
Venustiano C.	35	132

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.9. Representación del consumo de combustible con la mejora de mediano costo.



Fuente: Elaboración propia.

⁷ En esta mejora de mediano costo, ya se nota una buena reducción en el consumo de combustible, mejorando el nivel de servicio, disminuyendo las demoras, pasando de un nivel de servicio F en general, a contar con nivel de servicio C y B; y en comparativa con las condiciones actuales, la generación de emisiones contaminantes se reduce desde un 17% hasta un 80% respectivamente para acceso.

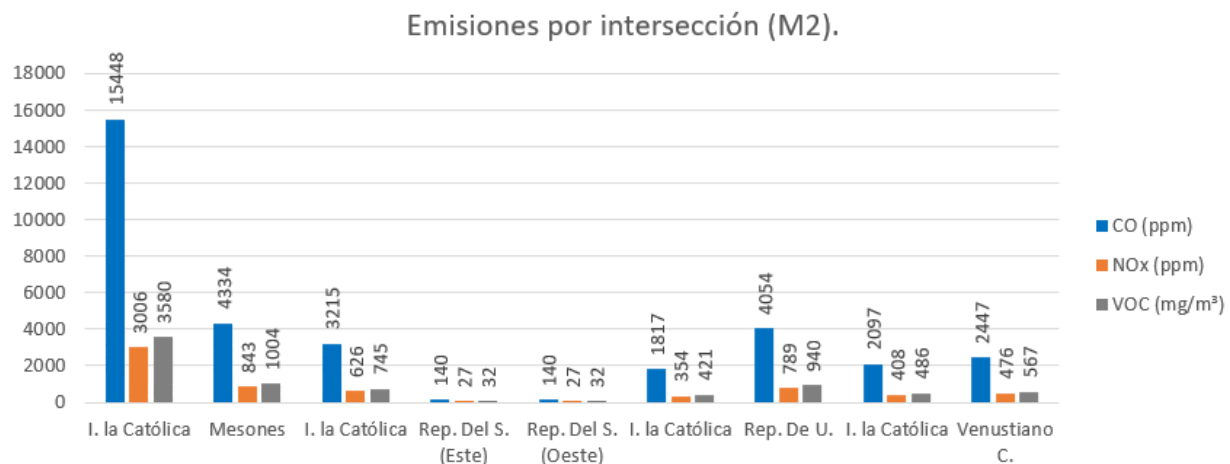
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 7.6. Emisiones contaminantes del flujo vehicular con la mejora de mediano costo.

	Emisiones M2 (x HMD)		
	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)
I. la Católica	15448	3006	3580
Mesones	4334	843	1004
I. la Católica	3215	626	745
Rep. Del S. (Este)	140	27	32
Rep. Del S. (Oeste)	140	27	32
I. la Católica	1817	354	421
Rep. De U.	4054	789	940
I. la Católica	2097	408	486
Venustiano C.	2447	476	567

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.10. Representación de emisiones contaminantes del flujo vehicular con la mejora de mediano costo.



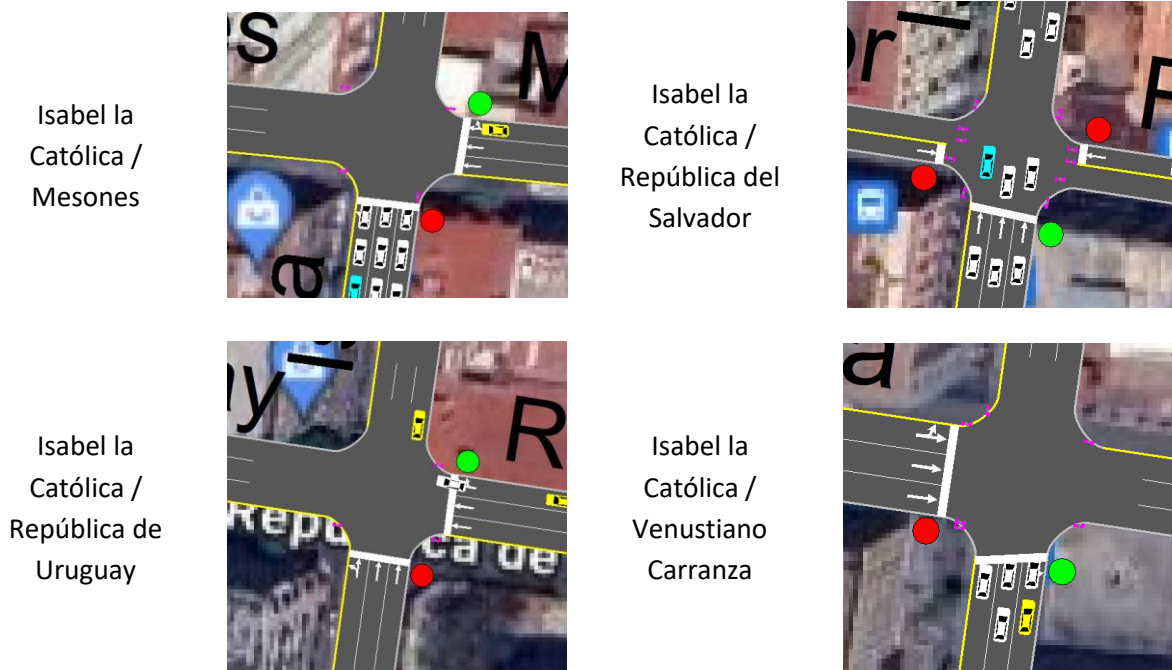
Fuente: Elaboración propia.

7.3 Mejora de alto costo M3.

Aquí como último escenario de mejora, se plantea la reestructuración de la arteria en análisis, para que sea acorde a la demanda y opere en un óptimo nivel de servicio. Donde con excepción de la calle de República del Salvador en sentido (E-O y O-E), se considera el aumentar un carril en cada acceso, para la demanda vehicular con ensanchamiento sobre Isabel la Católica. En la siguiente Figura 7.11 se muestran las condiciones geométricas para esta mejora de alto costo para cada intersección. Con esta propuesta de alto costo, se obtiene una mejora en los niveles de servicio y en la utilización de la capacidad de la intersección (ICU) (ver Figura 7.12).

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.11. Condiciones geométricas de la mejora de alto costo.



Fuente: Elaboración propia diseñada en Synchro 6.

Figura 7.12. ICU y Nivel de Servicio de la mejora de alto costo.



Elaboración propia con Synchro 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Al restringir el paso de vehículos pesados y con el aumento de carril, las demoras disminuyen junto con una buena mejoría en el nivel de servicio y en la utilización de la capacidad de la intersección como se muestra en la siguiente Tabla 7.7, en la Figura 7.13 se muestra la representación de las demoras para cada intersección.

Tabla 7.7. Demoras y Nivel de Servicio con la mejora de alto costo.

	Mejora 3 (alto costo)			
	Approach Delay (seg)	Nivel de Servicio (Intersección)	Nivel de Servicio (Arterial)	ICU
I. la Católica	55.3	D	D	58.60%
Mesones	28			
I. la Católica	14.8	B	B	35.60%
Rep. Del S. (Este)	18.2			
Rep. Del S. (Oeste)	18	B	B	59.10%
I. la Católica	12.2			
Rep. De U.	14.4	B	B	51.20%
I. la Católica	6.5			
Venustiano C.	23.6			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.13. Demoras de la mejora de alto costo por intersección.



Elaboración propia con Synchro 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

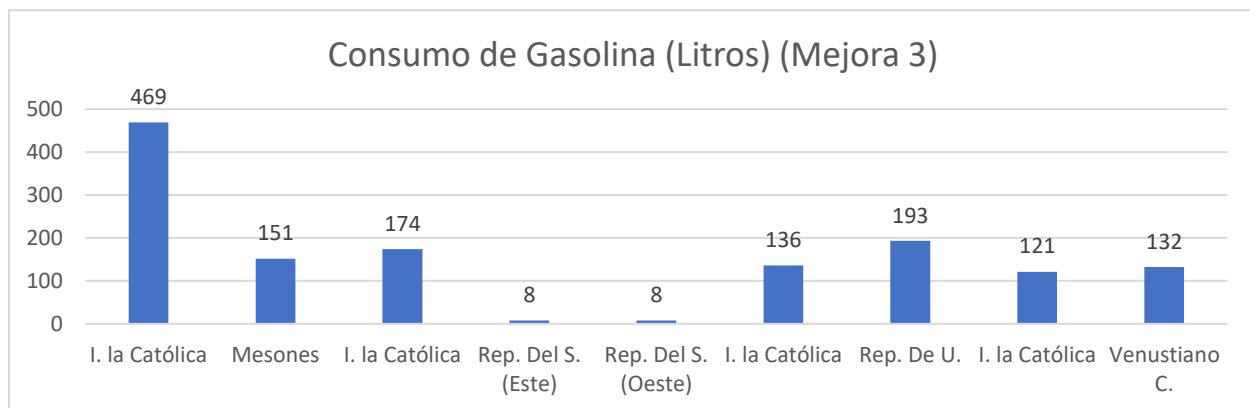
En la siguiente Tabla 7.8, se muestra el consumo de gasolina y en la Tabla 7.9 las emisiones contaminantes registrados⁸ por el software para esta tercera propuesta de solución y en las Figuras 7.14 y 7.15 se muestra la representación gráficamente su comportamiento.

Tabla 7.8. Consumo de combustible del flujo vehicular con la mejora de alto costo.

	Gasolina M3 (x hora)	
	Galones	Litros
I. la Católica	124	469
Mesones	40	151
I. la Católica	46	174
Rep. Del S. (Este)	2	8
Rep. Del S. (Oeste)	2	8
I. la Católica	36	136
Rep. De U.	51	193
I. la Católica	32	121
Venustiano C.	35	132

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.14. Representación del consumo de combustible con la mejora de alto costo.



Fuente: Elaboración propia.

⁸ En esta mejora de alto costo, ya se nota una reducción considerable en el consumo de combustible, mejorando el nivel de servicio, disminuyendo las demoras, pasando de un nivel de servicio F en general, a contar con nivel de servicio D y B; y en comparativa con las condiciones actuales, la generación de emisiones contaminantes se reduce desde un 17% hasta un 80% respectivamente para acceso.

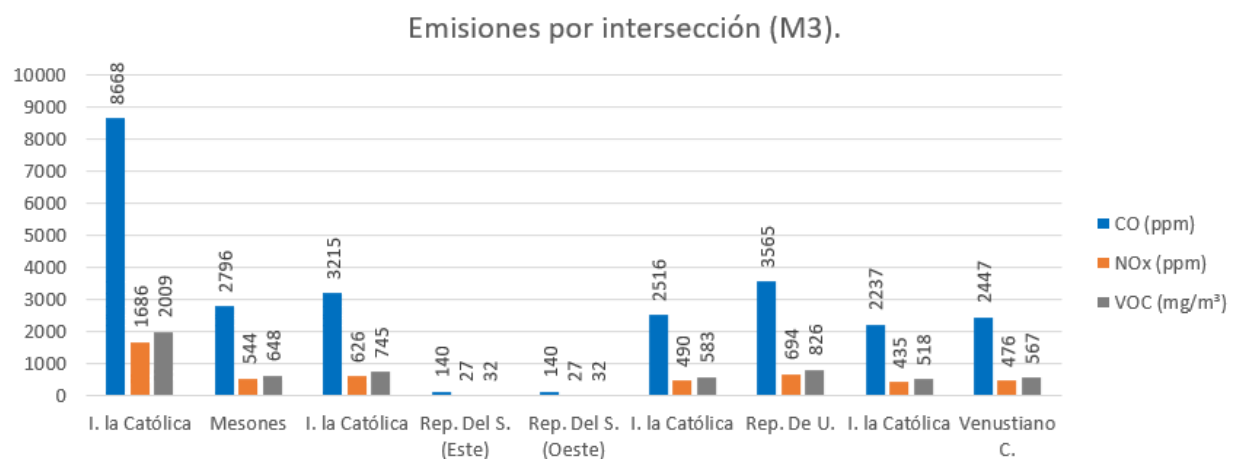
Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 7.9. Emisiones contaminantes del flujo vehicular con la mejora de alto costo.

	Emisiones M3 (x HMD)		
	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)
I. la Católica	8668	1686	2009
Mesones	2796	544	648
I. la Católica	3215	626	745
Rep. Del S. (Este)	140	27	32
Rep. Del S. (Oeste)	140	27	32
I. la Católica	2516	490	583
Rep. De U.	3565	694	826
I. la Católica	2237	435	518
Venustiano C.	2447	476	567

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.15. Representación de emisiones contaminantes con la mejora de alto costo.



Fuente: Elaboración propia.

7.4 Comparativa de escenarios.

Desde la mejora de bajo costo se presenta una leve mejoría en el nivel de servicio, aunque las demoras siguen siendo elevadas, puesto que, aunque se restringe el paso de vehículos pesados y se aplica la optimización del ciclo semafórico, el número de vehículos que sigue circulando es muy elevado y las condiciones geométricas siguen sin ser suficientes puesto que:

- En la primera intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 5%, sobre Mesones se redujo un 2%, dando un nivel de servicio F.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- En la segunda intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 70%, sobre República del Salvador (O-E) se redujo un 32% y en sentido (E-O) aumentó un 22%, dando un nivel de servicio B.
- En la tercera intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora aumentó un 22%, sobre República de Uruguay se redujo un 88%, dando un nivel de servicio C.
- En la última intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 42%, sobre Venustiano Carranza se redujo un 24%, dando un nivel de servicio B.

En la mejora de mediano costo, al implementar un ensanchamiento para los movimientos de giro de cada acceso, excepto por la calle de República del Salvador, ya que en esta intersección se deja únicamente el paso del MB línea 4, y desde Isabel la Católica se restringe el giro a la izquierda y a la derecha; se observa un aumento en la reducción de las demoras, aunque en la primera IS el nivel de servicio sigue siendo F, puesto que:

- En la primera intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 46%, sobre Mesones se redujo un 25%, dando un nivel de servicio F.
- En la segunda intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 49%, sobre República del Salvador (O-E) se redujo un 59% y en sentido (E-O) se redujo un 36%, dando un nivel de servicio C.
- En la tercera intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 55%, sobre República de Uruguay se redujo un 91%, dando un nivel de servicio B.
- En la última intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 69%, sobre Venustiano Carranza se redujo un 39%, dando un nivel de servicio B.

Para el último escenario de mejora, que es el de alto costo, en donde, con excepción de la calle de República del Salvador, se amplía un carril en cada acceso, y manteniendo la optimización del ciclo semafórico y la restricción del paso de vehículos pesados, se logra una mejora sustancial, puesto que:

- En la primera intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 80%, sobre Mesones se redujo un 73%, dando un nivel de servicio D.
- En la segunda intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 59%, sobre República del Salvador (O-E) se redujo un 59% y en sentido (E-O) se redujo un 36%, dando un nivel de servicio B.
- En la tercera intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 28%, sobre República de Uruguay se redujo un 95%, dando un nivel de servicio B.
- En la última intersección, sobre la principal (Isabel la Católica) la demora se redujo un 73%, sobre Venustiano Carranza se redujo un 42%, dando un nivel de servicio B.

En la siguiente Tabla 7.10 se muestran el total de los datos para esta comparativa de tiempos de demora y niveles de servicio con respecto de las condiciones actuales y en la Figura 7.16 la gráfica de su comportamiento.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

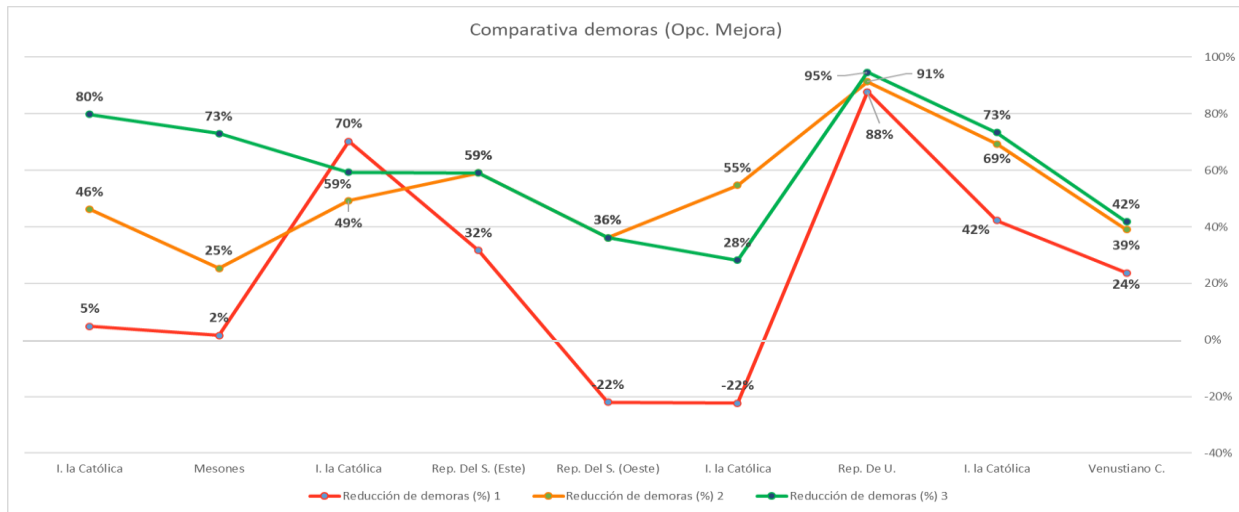
Tabla 7.10. Comparativa de Demoras y Nivel de Servicio por intersección.

	Demoras Estado Actual		Comparativa de Reducción de Demoras (x Opción de Mejora)								
	Approach Delay (seg)	LOS (Arteria)	Approach Delay (seg) (mejora 1)	Reducción de demoras (%)	Nivel de Servicio	Approach Delay (seg) (mejora 2)	Reducción de demoras (%)	Nivel de Servicio	Approach Delay (seg) (mejora 3)	Reducción de demoras (%)	Nivel de Servicio
I. la Católica	273.7	F	260.4	5%	F	147	46%	F	55.3	80%	D
Mesones	103.4		101.7	2%		77.2	25%		28	73%	
I. la Católica	36.3	F	10.8	70%	C	18.4	49%	C	14.8	59%	B
Rep. Del S. (Este)	44.5		30.4	32%		18.2	59%		18.2	59%	
Rep. Del S. (Oeste)	28.2		34.4	-22%		18	36%		18	36%	
I. la Católica	17	F	20.8	-22%	D	7.7	55%	B	12.2	28%	B
Rep. De U.	267.6		32.8	88%		23.4	91%		14.4	95%	
I. la Católica	24.4	F	14.1	42%	C	7.5	69%	B	6.5	73%	B
Venustiano C.	40.5		30.9	24%		24.7	39%		23.6	42%	

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.16. Comparativa de reducción de demoras por opción de mejora.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al consumo de gasolina, es un criterio de suma importancia, ya que, en la actualidad, este combustible tiene un precio elevado, por lo tanto, el lograr reducir su consumo al momento de transitar por las calles, es un ahorro importante, y en este caso de la zona de estudio, se nota la disminución desde la mejora 1 de bajo costo, hasta lograr un consumo bastante optimizado con la mejora 3. En la siguiente Tabla 7.11 se muestra los datos de los consumos registrados en cada opción de mejora con su porcentaje de reducción y en la Figura 7.17 se muestra el comportamiento de gasto de combustible con cada opción de mejoramiento.

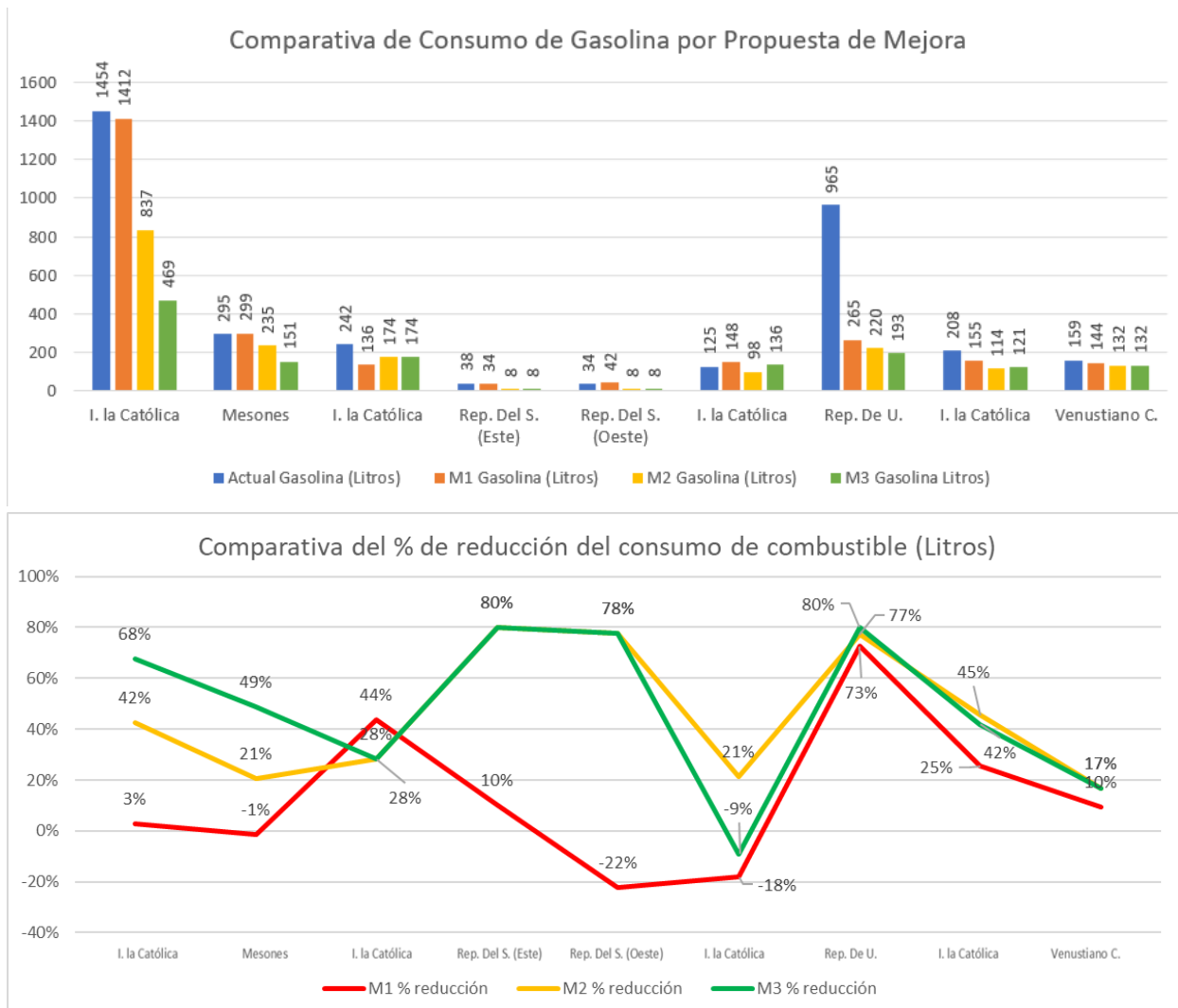
Tabla 7.11. Reducción de consumos de combustible registrado por opción de mejora.

	Consumo de gasolina (Litros)						
	Actual	M1		M2		M3	
	Gasolina (Litros)	Gasolina (Litros)	% reducción	Gasolina (Litros)	% reducción	Gasolina (Litros)	% reducción
I. la Católica	1454	1412	3%	837	42%	469	68%
Mesones	295	299	-1%	235	21%	151	49%
I. la Católica	242	136	44%	174	28%	174	28%
Rep. Del S. (Este)	38	34	10%	8	80%	8	80%
Rep. Del S. (Oeste)	34	42	-22%	8	78%	8	78%
I. la Católica	125	148	-18%	98	21%	136	-9%
Rep. De U.	965	265	73%	220	77%	193	80%
I. la Católica	208	155	25%	114	45%	121	42%
Venustiano C.	159	144	10%	132	17%	132	17%

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.17. Disminución de consumo de combustible por opción de mejora.



Fuente: Elaboración propia.

Pasando al tema de las emisiones contaminantes, es un factor que no puede pasarse por alto, puesto que, el tránsito de todos los tipos de vehículos genera niveles de emisiones que provocan problemas de salud. El análisis de esta arteria permite disminuir las emisiones con cada propuesta de mejora, contribuyendo así a evitar que se active el programa “Hoy no circula” por la mala calidad del aire.

En la siguiente Tabla 7.12, se muestra la comparativa de los datos de las emisiones para cada escenario de mejora, y en las Figuras 7.4.3 a la 7.4.5, se muestra gráficamente el comportamiento de los datos de la Tabla 7.12.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

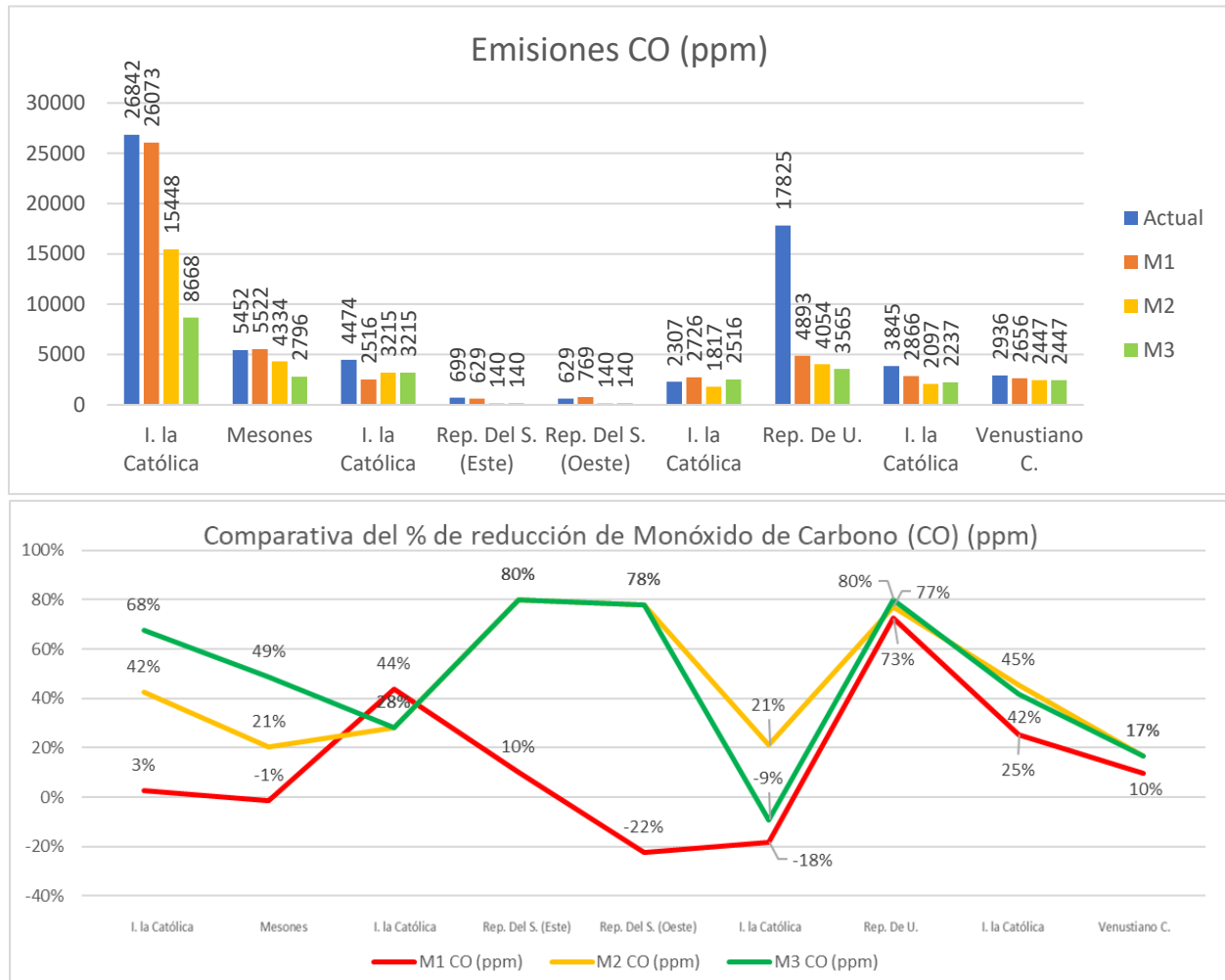
Tabla 7.12. Reducción de emisiones por escenario de mejora.

	Reducción de Emisiones Contaminantes por Opción de Mejora											
	Actual			M1			M2			M3		
	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)	CO (ppm)	NOx (ppm)	VOC (mg/m ³)
I. la Católica	26842	5222	6221	3%	3%	3%	42%	42%	42%	68%	68%	68%
Mesones	5452	1061	1264	-1%	-1%	-1%	21%	21%	21%	49%	49%	49%
I. la Católica	4474	870	1037	44%	44%	44%	28%	28%	28%	28%	28%	28%
Rep. Del S. (Este)	699	136	162	10%	10%	10%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Rep. Del S. (Oeste)	629	122	146	-22%	-22%	-22%	78%	78%	78%	78%	78%	78%
I. la Católica	2307	449	535	-18%	-18%	-18%	21%	21%	21%	-9%	-9%	-9%
Rep. De U.	17825	3468	4131	73%	73%	73%	77%	77%	77%	80%	80%	80%
I. la Católica	3845	748	891	25%	25%	25%	45%	45%	45%	42%	42%	42%
Venustiano C.	2936	571	680	10%	10%	10%	17%	17%	17%	17%	17%	17%

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

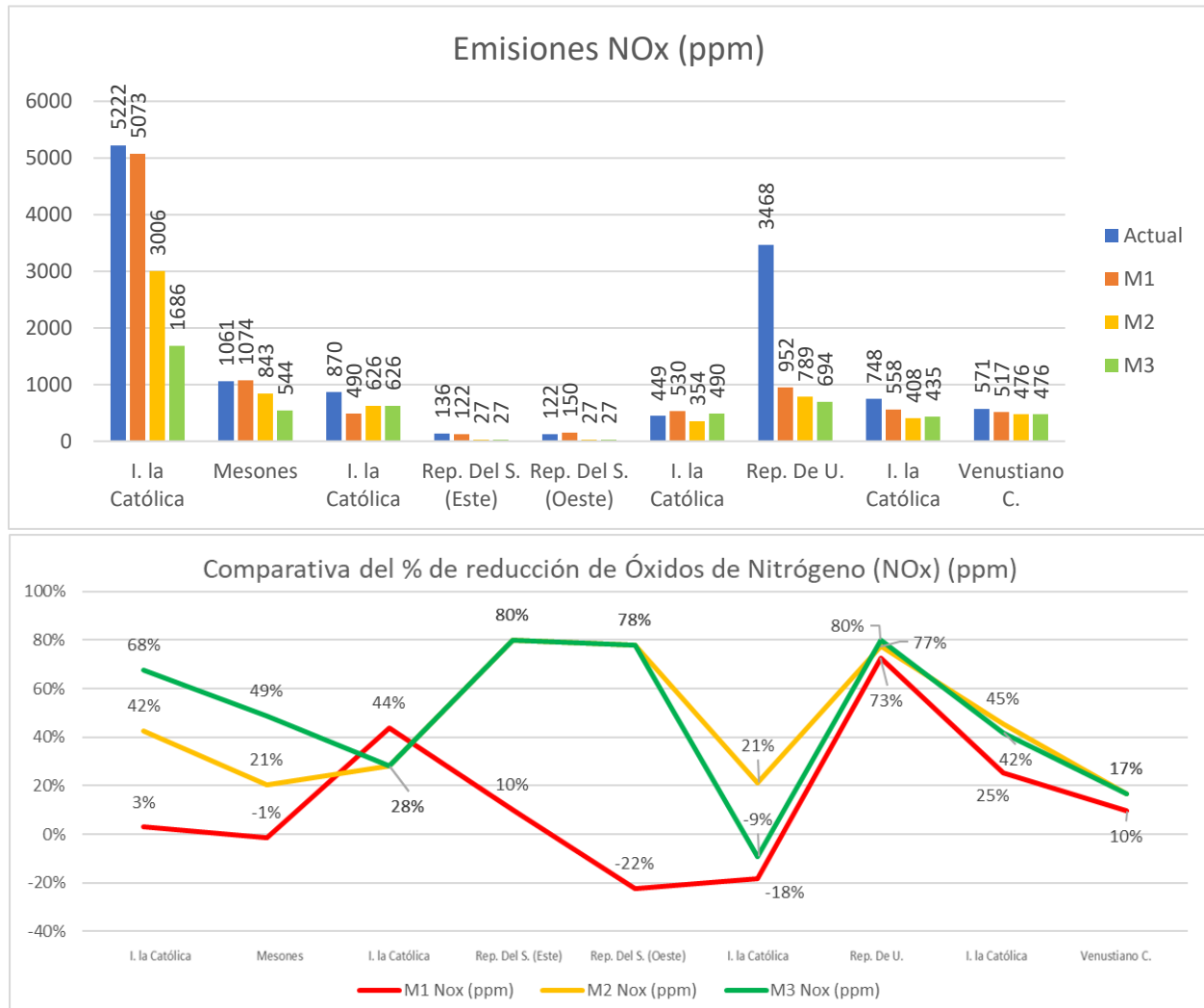
Figura 7.18. Comportamiento de emisiones de CO por cada escenario de mejora.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

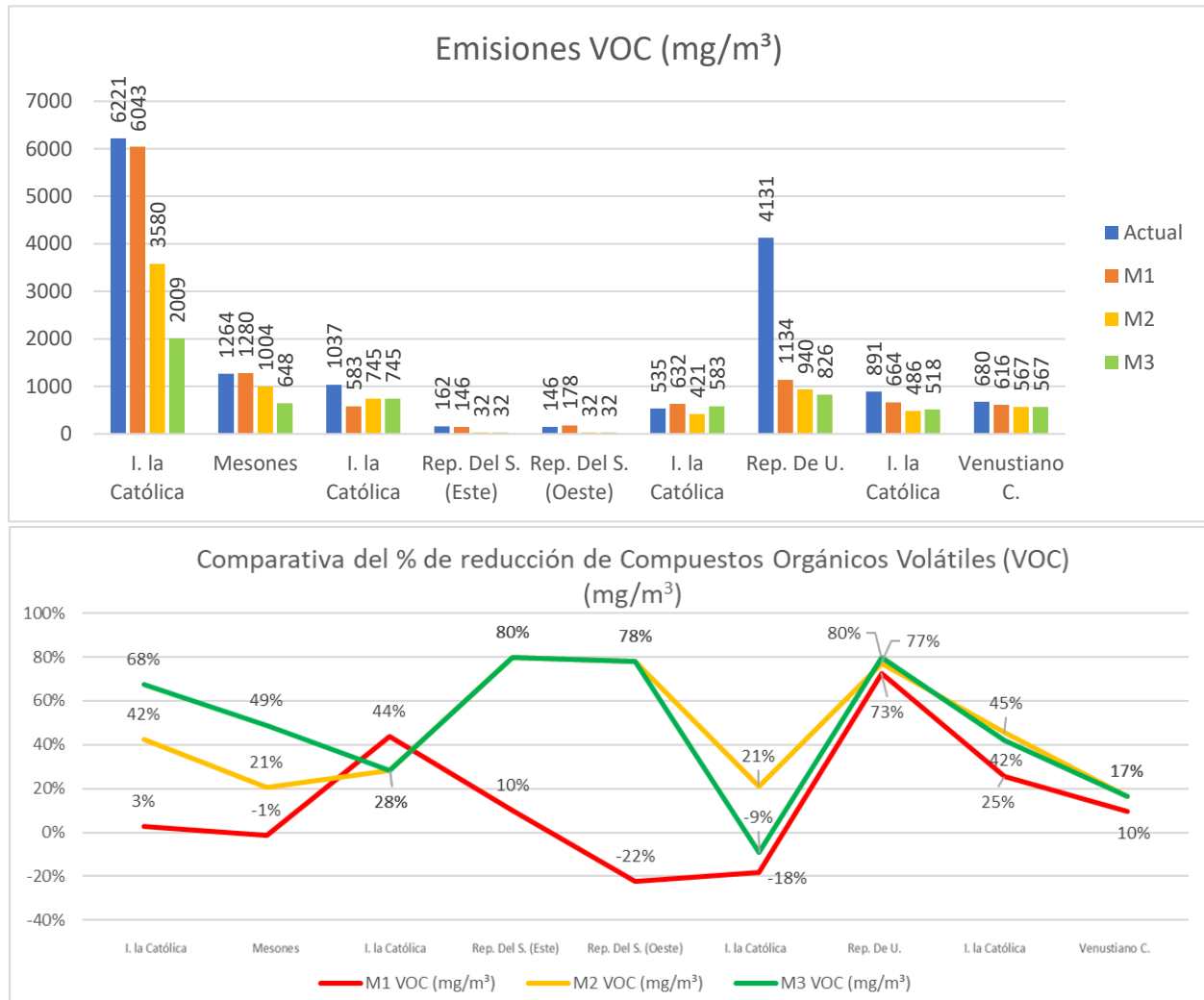
Figura 7.19. Comportamiento de emisiones de NOx por cada escenario de mejora.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.20. Comportamiento de emisiones de VOC por cada escenario de mejora.



Fuente: Elaboración propia.

7.5 Selección de opción de mejora y análisis como sistema progresivo simple.

Considerando los resultados de las demoras de cada escenario de mejoramiento, para la optimización del nivel de servicio de cada intersección semaforizada como a nivel arterial, la propuesta de mejora de mediano costo, es la que se acoplaría mejor con el objetivo de este trabajo. Y que a su vez con la optimización semafórica se logra una mejora de la operación del flujo vehicular, dado que, al añadir un carril para los movimientos de giro, se distribuye mejor el alto volumen vehicular y se disminuyen los tiempos de demoras generados por la congestión y también por los movimientos de giro. En la siguiente Figura 7.21 se muestran las condiciones geométricas de la mejora de mediano costo por intersección y en la Figura 7.22 se muestra la arteria completa.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Figura 7.21. Condiciones geométricas de la mejora de mediano costo por intersección.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.22. Simulación de la mejora de mediano costo en arteria completa con Synchro.



Elaboración propia con Synchro 6.

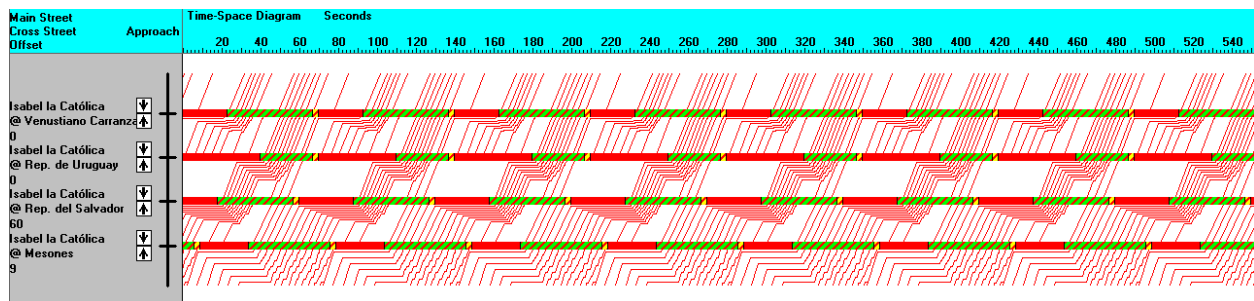
En seguida, se procedió a realizar el análisis como sistema progresivo simple, y, ¿qué es un sistema progresivo simple? Un sistema progresivo simple según Cal y Mayor (2018), trata de varios semáforos sucesivos, a lo largo de una calle, que dan la indicación de verde de acuerdo con una variación de tiempo que permite, hasta donde es posible, la operación continua de grupos de vehículos a velocidad fija en

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

“ondas verdes”. Cada intersección puede tener una división diferente de ciclo, pero dicha división permanece fija.

Y esto ¿cómo se realiza? Se logra a través de un diagrama “espacio-tiempo”, este diagrama se puede lograr sin importar en tipo de sistema que se tenga; y se puede construir para un determinado periodo de tiempo. Si estamos hablando de un sistema progresivo simple la forma del diagrama va a ser siempre la misma; y en la siguiente Figura 7.23 se muestra el diagrama espacio tiempo que genera el software Synchro Traffic.

Figura 7.23. Diagrama espacio-tiempo, para el sistema progresivo simple.



Elaboración propia con Synchro 6.

Con este análisis se obtienen los siguientes niveles de servicio sobre Isabel la Católica en su cruce con: Mesones, se mantiene un Nivel de Servicio “F”, con República Del Salvador se tiene un Nivel de Servicio “C”, con República De Uruguay se tiene un Nivel de Servicio “B” y con Venustiano Carranza se tiene un Nivel de Servicio “B”; manteniendo la velocidad actual de 40 km/h y con el tiempo de ciclo propuesto por Synchro de 76 segundos, es como se puede realizar esta sincronía en la operación semafórica, mejorando la circulación.

8 Conclusiones.

Mediante el desarrollo de este trabajo, se analizaron las condiciones existentes del corredor semaforizado, determinando que son insuficientes, puesto que, con el gran incremento del parque vehicular, el crecimiento en la población y el alto número de viajes que se realizan a la zona de estudio, las demoras, emisiones contaminantes, y consumo de combustible son muy elevados.

Al elaborar el diagnóstico con las condiciones actuales y medidas del diseño geométrico, se registraron los conteos vehiculares y peatonales (aforos) cuadrando los volúmenes; se calcularon los vehículos equivalentes y con estos flujos, se procedió a estimar el ciclo óptimo de cada fase semafórica, usando el método manual de Webster; habiendo obtenido también las demoras comparadas con el Manual de Capacidad de Carreteras. Con base en esos resultados se realizó la simulación de tres escenarios de mejoramiento, de bajo costo, de mediano costo y de alto costo.

Sin olvidar que el Centro Histórico de la Ciudad de México, donde se ubica la zona de estudio es patrimonio cultural, no se puede modificar de manera excesiva la infraestructura existente, por lo tanto; observando los resultados de cada simulación se determinó que la mejora de mediano costo es el escenario idóneo para mejorar la capacidad y el nivel de servicio mediante la optimización semafórica, puesto que, con el nuevo ciclo semafórico los vehículos que circulan por la arteria de análisis tienen un mejor margen de tiempo para recorrer las cuatro intersecciones desde la calle Mesones hasta Venustiano Carranza; al añadir un carril, para los movimientos de giro para cada acceso de cada intersección, con excepción de República del Salvador que, en este caso se dejó únicamente para el paso del Metrobús (1 carril), se pudo pasar de un nivel de servicio "F" en general para todo el corredor; con demoras que van desde los 17 segundos hasta los 273 segundos, logrando una reducción desde el 25% hasta el 91% con demoras de 7.5 segundos hasta los 147 segundos, con un nivel de servicio "F" en la primera intersección; un nivel de servicio "C" en la segunda intersección; y un nivel de servicio "B" en las siguientes dos intersecciones.

Otro resultado que no puede pasarse por alto es el tema del consumo de combustible, que en las condiciones actuales hasta 1454 litros y con la mejora de alto costo, se redujo desde un 17% hasta un 80% llegando a un consumo de 837 litros como máximo (que presentó la simulación con Synchro) y un mínimo de 8 litros; lo que repercutió en las emisiones contaminantes que presentaron una reducción desde el 17% hasta 80% de acuerdo a cada acceso por intersección.

Estos resultados de la simulación del escenario de mejora de mediano costo con el software Synchro en su versión 6, sólo indica los flujos peatonales en cada cruce por intersección; la velocidad para los flujos vehiculares se maneja de manera general para todos los tipos de vehículos; en el tema de transporte público sólo permite indicar si se tienen paradas de autobús, pero no las simula como tal. Estos puntos hacen que las simulaciones no sean 100% como se observan en campo, lo que deja aún bastante camino por recorrer para mejorar las simulaciones microscópicas; pero sin duda no deja de ser una gran herramienta para proponer soluciones para la movilidad.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

El poder realizar esta mejora para el corredor semaforizado mediante esta tesis, va a permitir tener un mejor desplazamiento, reduciendo los tiempos de demoras, que de acuerdo con los niveles de servicio del Manual de Capacidad de Carreteras del 2000, el nivel de servicio "A" es la condición ideal, y el nivel de servicio "F" es la peor condición operativa, indicando que la vialidad está rebasada en su capacidad, por lo que con el nivel de servicio obtenido "F" en la primera intersección, "C" en la segunda y "B" en las dos intersecciones siguientes, se va a notar una mejora en la movilidad y también se reduce el estrés que ocasiona el congestionamiento y la calidad del aire al reducir las emisiones contaminantes.

Se recomienda continuar haciendo revisiones periódicas de las condiciones de los planes semafóricos, puesto que la movilidad, el incremento vehicular y poblacional son constantes de manera que nunca se tendrá el mismo comportamiento día con día por lo que a futuro podrían implementarse semáforos inteligentes que se accionen automáticamente de manera parcial o completamente de acuerdo al flujo vehicular; para que de este modo desde un centro de control se monitoree el funcionamiento; dado que al centro histórico de la Ciudad de México le hizo falta planeación a futuro y no se consideró el gran incremento del parque vehicular. Teniendo un sistema que optimice los ciclos semafóricos de acuerdo a la demanda pueden evitarse altos tiempos de demora, retrasos, así como el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios y peatones.

8.1 Conclusiones por objetivos.

En el diagnóstico de las condiciones físicas actuales del corredor arterial se encontraron varias deficiencias a mejorar, que, aunque no son graves para detener el tránsito vehicular, se deben realizar para mantener en óptimas condiciones el recubrimiento con el que está hecha la superficie de rodamiento. Se necesita pintar correctamente el balizado de cada intersección, puesto que, al no distinguirse ya por el desgaste, los conductores no mantienen su carril correctamente e invaden el carril aledaño o simplemente van en medio de los dos carriles disponibles; sin olvidar la señalización del carril exclusivo del Metrobús en la calle de República del Salvador, que, de igual manera no está bien señalizado, los conductores ingresan a esa calle como si fuera tránsito mixto.

Al realizar el cálculo de los ciclos óptimos con el método de Webster, los tiempos obtenidos fueron muy cortos, estando en el rango de 12 a 26 segundos de tiempo de verde efectivo para la vía principal que es Isabel la Católica y de 4 a 16 segundos de tiempo de verde efectivo para las vías secundarias que serían las calles desde Mesones a Venustiano Carranza, lo que no ayuda en nada al flujo vehicular, al contrario, al ser tan poco tiempo de verde, se generan colas y demoras muy altas, empeorando el nivel de servicio.

Por otra parte, la optimización con el software HCS, dio tiempos diferentes para cada intersección siendo la primera en el cruce con Mesones el más alto con 150 segundos de tiempo de ciclo; para la calle de República de Uruguay el tiempo de ciclo fue de 110 segundos y para la calle de República del Salvador y Venustiano Carranza el tiempo fue de 60 segundos. En cambio, Synchro 6.0 brindó el tiempo de ciclo un poco más elevado de manera individual en tres intersecciones en comparación con el HCS, donde para la primera intersección aumentó 6 segundos, para la segunda incrementó 16 segundos; para la tercera disminuyó 24 segundos y para la última aumentó 11 segundos. En la optimización a nivel arterial, redujo

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

el tiempo de ciclo haciendo que el total para cada intersección quedara en 76 segundos, siendo esta última, la opción de tiempo de ciclo óptima a implementar en el corredor de análisis.

La medida operativa de efectividad, que para intersecciones semaforizadas es la demora media de parada, y con el método de Webster, las demoras obtenidas fueron realmente bajas puesto que sólo considera la multiplicación de los volúmenes de cada carril por la demora ("dj") por carril; lo que significa que aunque se tenga un volumen vehicular que supera la capacidad de la vialidad, los tiempos bajos de demora por intersección que están en el rango de 9 a 17 segundos; contrarrestados con la tabla de nivel de servicio del HCM, da un buen nivel de servicio, siendo "A" y "B", lo que no concuerda con la realidad.

En cambio, al hacer el cálculo con el Manual de Capacidad de Carreteras del 2000, considerando la demora uniforme, la demora incremental, factor de progresión, la proporción de tiempo de verde disponible; brinda demoras acordes a la situación actual que indica que el nivel de servicio, con tiempos de demora de 195.93 segundos para la primera intersección y 24.07 segundos para la segunda intersección con el paso del Metrobús, sin tener movimiento vehicular que cruce Isabel la Católica; proporcionando que no sea tan elevada la demora, que para la tercera intersección es de 96.66 segundos y para la última intersección es de 40.04 segundos, dando niveles de servicio "F", "C", "F" y "D".

Los niveles de servicio con Synchro 6.0 fueron de "F" para todo el corredor, siendo para la primera intersección con demoras de 159 y 455 segundos; para la segunda intersección con demoras de 50, 24 y 121 segundos; para la tercera intersección con demoras de 312 y 54 segundos y para la última intersección con demora de 40 y 124 segundos. Lo que indica que el software Synchro, aunque sigue los procedimientos del HCM, al realizar los cálculos sin considerar la simulación, pueden llegar a variar los resultados por decimales, lo que repercute en el resultado del nivel de servicio.

Pasando al apartado de las simulaciones en software especializado brinda más a detalle el comportamiento de cada una de las propuestas de mejora, en cuanto al nivel de servicio, demoras, y emisiones contaminantes. Como se muestra en la Figura 7.4.1, considerando la línea roja como la mejora de bajo costo, en donde se restringe el paso de vehículos pesados y al carril exclusivo del Metrobús restringe el paso de vehículos particulares; la reducción de las demoras es de un 2% a un 88% en donde el 2% representa la primera intersección, que es la más afectada sin que represente una mejora importante, aunque en general hubo mejora en el nivel de servicio siendo "F", "C", "D", y "C"; la línea naranja representa la mejora de mediano costo en donde la reducción de demoras va de un 25% a un 91%, en esta opción ya se nota una buena reducción a las demoras, mejorando el nivel de servicio llegando a ser "F", "C", "B", y "B"; y por último la línea verde que representa la mejora de alto costo, hace notar una reducción considerable en las demoras que va de un 28% al 95% y en el nivel de servicio siendo "D", "B", "B", y "B", mejorado notoriamente la intersección de Isabel la Católica y Mesones (primera intersección), pasando de ser la más congestionada a una circulación del tránsito más fluido.

Mostrándose en cada simulación la mejora en el comportamiento y fluidez de la circulación vehicular, donde también se nota una mejora en el consumo de combustible, presentando una reducción que va del 17% al 80% como se muestra en la Tabla 7.4.2, respectivamente para cada intersección, agilizando

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

considerablemente el flujo vehicular. Con respecto a las emisiones contaminantes, de igual manera se tiene una buena reducción con la mejora de mediano costo, reduciendo hasta un 80% las emisiones, así se mejora la calidad de vida de los peatones que caminan por la zona y también se mejora la calidad del aire evitando enfermedades respiratorias a largo plazo.

Tomando en consideración los resultados que se muestran desde la propuesta de mejora uno, de bajo costo, hasta la propuesta de mejora tres, de alto costo, se concluye que se logra el desarrollo completo de todos los puntos indicados en los objetivos de esta tesis de manera satisfactoria, consiguiendo la optimización semafórica, mejorando la circulación y nivel de servicio y reduciendo el consumo de combustible y emisiones contaminantes con el escenario de mediano costo, para no afectar el ordenamiento del Centro Histórico de la CDMX.

9 Recomendaciones.

Se recomienda el uso de software especializado para mejorar la movilidad tanto en la zona de estudio, como en la Ciudad de México, para que de este modo, se optimice la circulación del tránsito y disminuir las demoras, aunque no se debe olvidar que los dispositivos para el control de tránsito horizontales y verticales, también son de suma importancia para una buena convivencia entre vehículos, ciclistas y peatones; ya que, con el uso de los softwares se puede determinar de manera más precisa el nivel de servicio actual; el nivel de servicio que se quiere alcanzar con las propuestas de mejoramiento, simulando de manera eficiente todos los movimientos direccionales, como cambios de carril, el tránsito peatonal y su cruce por cada intersección; el comportamiento del transporte público con el ascenso y descenso de pasajeros; también los nuevos ciclos semafóricos para optimizar los flujos y reducir las demoras.

Dado que el incremento del parque vehicular y el incremento poblacional han sido de manera importante, es primordial considerar también otras medidas para el diseño geométrico de las calles y avenidas, así como también el re ordenamiento de la circulación, pudiendo asignar carriles exclusivos para las demás rutas de transporte público concesionado, como se tiene en la línea 4 del Metrobús; de este modo se podrían agilizar los traslados de las personas y las calles quedarían más libres para el tránsito mixto de vehículos y camiones pesados.

Al implementar de manera correcta la señalización horizontal y vertical, representa una ayuda importante, puesto que los vehículos tendrán correctamente indicados los carriles, sentidos de circulación y líneas de alto de las calles para evitar conflictos con peatones y ciclistas; de igual modo con los pasos peatonales bien definidos, los peatones no deberían tener pretexto para cruzar las calles por otras zonas diferentes (a la mitad o caminar por debajo de las banquetas sobre la carpeta de rodamiento), poniendo en riesgo su integridad y seguridad, claro que, con ayuda de elementos de tránsito, la circulación debería ser fluida y sin contratiempos.

Otro aspecto que debe considerarse es el de fomentar a la sociedad desde los peatones y niños, hasta los conductores de todos los tipos de vehículos, una correcta educación vial, fomentada a partir de programas sociales difundidos por el gobierno, para que todos los ciudadanos tengan el conocimiento elemental de como tener una convivencia en paz al transitar por las calles.

También la creación de reglamentos, políticas y restricciones para el transporte de carga que quiera ingresar al Centro Histórico de la CDMX, puesto que al no tener las condiciones geométricas adecuadas para el paso del este tipo de vehículos, los transportistas se detienen en cualquier punto de la vialidad, deteniendo el tránsito, y con la generación de reglamentos, esto sería en horarios específicos y si es necesario, incluso aplicar una tarifa para permitir el ingreso; y para el caso de vehículos particulares que ingresen deberán buscar establecimientos de estacionamiento.

En adición como retos pendientes o retos futuros, también podría considerarse el convertir el corredor a que sea solo de paso de transporte concesionado (camiones, micros) sobre Isabel la Católica y en las calles transversales el paso de vehículos particulares; o en su defecto hacer a Isabel la Católica un andador

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

peatonal, con las calles transversales el paso de vehículos particulares y el transporte de carga con horarios definidos para promover la movilidad peatonal dado que en esta zona se llevan a cabo demasiadas transacciones de comercio al mayoreo, respetando la historia y ordenamiento del Centro Histórico de la CDMX.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Referencias.

- Akcelik & Associates PTY LTD. (2024). SIDRA INTERSECTION. SIDRA SOLUTIONS. <https://www.sidrasolutions.com/>
- Alba, M. & Hernández (2013). *Comparación de dos métodos de diseño para ciclos de semáforos*. Revista Cubana de Ingeniería. Vol. IV, No. 1, pp. 41 – 49. Sitio web: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistacubanadeingenieria/2013/vol4/no1/4.pdf>
- Autoridad del Centro Histórico de la Ciudad de México. (2023). *Conoce tu Centro Histórico*. Gobierno de la Ciudad de México. <https://autoridadcentrohistorico.cdmx.gob.mx/centro-historico-de-la-ciudad-de-mexico/conoce-tu-centro-historico>
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, Rafael y Cárdenas Grisales, James (2018); *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*; Alfaomega; México.
- Caliper Corporation. (2024). Software de planificación de transporte TransCAD. TransCAD Transportation Planning Software. <https://www.caliper.com/tcovu.htm>
- CONAPO. (2023). Bases de datos de la Conciliación Demográfica 1950 a 2019 y Proyecciones de la población de México 2020 a 2070. Consejo Nacional de Población. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/bases-de-datos-de-la-conciliacion-demografica-1950-a-2019-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-2020-a-2070?idiom=es>
- Cubic Transportation Systems. (2022). Guía del usuario de Synchro Studio v10. 29-03-2023, de Trafficware. Sitio web: <https://support.trafficware.com/support/solutions/articles/69000825684-synchro-studio-v10-user-guide>
- Esparza, G. & Murrieta, R. (2014). *MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD. SCT*. <http://sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-dispositivos-para-el-control-del-transito-en-calles-y-carreteras/>
- F. V. Webster, B. M. Cobbe y Road Research Laboratory. (1966). Traffic signals. 29-03-2023, de sinaldetransito. Sitio web: <https://nou.sinaldetransito.com.br/wp-content/uploads/2021/03/webster2.pdf>
- Gobierno de la CDMX. (2024). Conoce más del Centro Histórico. Autoridad del Centro Histórico de la Ciudad de México. <https://autoridadcentrohistorico.cdmx.gob.mx/centro-historico-de-la-ciudad-de-mexico/conoce-tu-centro-historico>
- González Cabrera, Héctor. (2012). *Implementación de un algoritmo para la asignación de tráfico vehicular*. 3-05-2023, de Repositorio Facultad de Ingeniería. Sitio web: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2659/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, L. (2001). Estudios de ingeniería de tránsito. Universidad de Sonora. División de Ingeniería. <http://www.bidi.uson.mx/tesisDet.aspx?crit1=TITULO&texto1=ingenieria%20de%20transito&crit2=TITULO&texto2=>
- Herrera, P. (2024). CDMX: ¿cuánto tiempo pierden sus habitantes en el tráfico? UNAM Global REVISTA. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/cdmx-cuanto-tiempo-pierden-sus-habitantes-en-el-trafico/
- Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 2009). Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt322.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2022). *Vehículos de motor registrados en circulación*. 13-02-2023, de INEGI. Sitio web: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?c=13158

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

- Jiménez, S. S. (2022). *Agresividad vial de conductores de autos particulares en Cuernavaca, Morelos*. Sitio web: <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2099/SEJSMR09T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Londoño Mejía, G. (2005). *"Métodos de asignación dinámica de tráfico"*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/145352>
- Londoño, G. y Lozano, A. (2012). *Suitable cost functions for signalized arterials and freeways, in the user equilibrium assignment problem*. 3-05-2023, de Procedia - Social and Behavioral Sciences. Sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812042942>
- Mayo Romero (2017). La CDMX en el tiempo: la vida cotidiana en la colonia Centro. máspormás. <https://www.maspormas.com/ciudad/colonia-centro-historia/>
- McTrans Center. (2024). Highway Capacity Software 2000. Software de capacidad de autopistas (HCS). <https://mctrans.ce.ufl.edu/>
- Mistele, B., Chapman, C. (2024). INRIX Signal Analytics. INRIX. <https://inrix.com/products/signal-analytics/>
- Pitney Bowes Software. (2024). Traffic Engineering. Quadstone Paramics. <https://www.paramics-online.com/>
- PTV Group. (2023). Software de simulación multimodal del tráfico. PTV Group. <https://www.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim>
- Quintero-González, J.-R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente Y Desarrollo*, 21(40), 57–72. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>
- Saucedo, J. (2023). Conductores en CdMx pierden más de 5 días al año en el auto debido al tráfico: Cabify. TELEDIARIO. <https://www.telediario.mx/comunidad/conductores-cdmx-pierden-5-auto-traffic>
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte (SICT, 2014). MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD. SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Recuperado 10 de marzo de 2023, de <http://sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-dispositivos-para-el-control-del-transito-en-calles-y-carreteras/>
- Secretaría de Seguridad Ciudadana. (2023). Reglamento de Tránsito. Secretaría de Seguridad Ciudadana. <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Transito/Actualizaciones/Reglamento-de-Transito-CDMX.pdf>
- SIDESO CDMX. (2008). *PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO DE CUAUHEMOC*. 10-03-2023, de PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO. Sitio web: https://paot.org.mx/centro/programas/delegacion/cuauhte_original.html#estructurav
- The AnyLogic Company. (2024). Software de Simulación de Tráfico Vial. ANYLOGIC. <https://www.anylogic.com/>
- tomtom. (2024). Tráfico en la Ciudad de México. tomtom. <https://www.tomtom.com/traffic-index/mexico-city-traffic/>
- Trafficware. (2022). DISEÑA MEJOR, MUÉVETE MÁS RÁPIDO CON SYNCHRO STUDIO. Cubic Transportation Systems, Inc. <https://www.cubic.com/transportation/synchro-studio>
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual. 2000. Washington D.C: TRB 2000*.
- Transporte para Nueva Gales del Sur. (2022). UN SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO INTELIGENTE Y ADAPTABLE. scats. <https://www.scats.nsw.gov.au/home>

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Universidad de Florida. (2021). *Software de capacidad de autopista*. 29-03-2023, de McTrans. Sitio web: <https://mctrans.ce.ufl.edu/highway-capacity-software-hcs/>

Valle Rodríguez, Karina del. (2001). *"Propuesta de reordenamiento para el comercio informal en vía pública dentro de la Delegación Cuauhtémoc del D.F. 1997-2000"*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/349769>

Webster, F. V. (1957) *Traffic Signal Settings. Road Research Technical Paper No. 39*, Her Majesty's Stationery Office, London. En: https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/traffic_signals_webster.pdf

Yunex Traffic Group. (2024). Acerca de Aimsun. Aimsun. <https://www.aimsun.com/about-aimsun/>

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Anexos.

Anexo 1. Volúmenes de HMD por intersección.

Aforos matutinos.

Isabel la Católica y Mesones													
HORA	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES				
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	
08:00	212	51	20	60	3	1	0	0	5	2	1	1	
08:15	159	53	21	65	5	1	0	0	5	1	1	1	
08:30	183	40	34	78	7	0	0	0	4	1	0	1	
08:45	157	28	46	89	3	0	0	1	8	1	4	3	

Isabel la Católica y Rep. del Salvador													
HORA	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES				
	A1	A4	A3	D1	D4	C1	C3	A1	D1	D4	C1	C3	
08:00	252			18	0	22	0	11	0	6	0	4	3
08:15	198			16	0	15	0	8	0	5	0	4	1
08:30	187			13	0	13	0	9	0	4	0	5	2
08:45	198			23	0	21	0	5	0	6	0	5	5

Isabel la Católica y Rep. de Uruguay													
HORA	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES				
	A1	A5	E1	E5	A1	A5	E1	E5	A1	A5	E1	E5	
08:00	148	53	35	177	5	0	0	0	10	0	3	2	
08:15	87	44	46	176	3	0	0	0	3	3	1	2	
08:30	157	57	35	112	7	0	0	0	7	2	1	2	
08:45	88	64	32	139	6	0	1	2	5	1	1	2	

Isabel la Católica y Venustiano Carranza													
HORA	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES				
	A1	A6	F1	F6	A1	A6	F1	F6	A1	A6	F1	F6	
08:00	121	24	19	96	8	0	0	0	5	0	1	2	
08:15	136	27	26	79	6	0	0	0	3	5	1	5	
08:30	199	28	22	100	12	0	0	0	5	3	0	6	
08:45	146	41	25	104	6	0	0	0	6	1	1	8	

Mov A1										Et=Eb 2		
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp				
212	3	5	220									
159	5	5	169									
183	7	4	194									
157	3	8	168	751	0.85	2%	3%	0.95				

Mov A1										Et=Eb 2		
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp				
252	0	0	252									
198	0	0	198									
187	0	0	187									
198	0	0	198	835	0.83	4%	2%	0.95				

Mov A1										Et=Eb 2		
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp				
148	5	10	163									
87	3	3	93									
157	7	7	171									
88	6	5	99	526	0.77	4%	5%	0.92				

Mov A1										Et=Eb 2		
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp				
121	8	5	134									
136	6	3	145									
199	12	5	216									
146	6	6	158	653	0.76	5%	3%	0.93				

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Matutino

		Et=Eb 2					
TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
1	2	54					
1	1	55					
0	1	41					
0	1	29	179	0.81	1%	3%	0.96

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
20	0	1	21					
21	0	1	22					
34	0	0	34					
46	0	4	50	127	0.64	0%	5%	0.95

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
60	0	1	61					
65	0	1	66					
78	0	1	79					
89	1	3	93	299	0.80	0%	2%	0.98

0.78

		Et=Eb 2					
TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
0	4	4					
0	4	4					
0	5	5					
0	5	5	18	0.90	0%	0%	1.00

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
0	11	3	14					
0	8	4	12					
0	9	2	11					
0	5	5	10	47	0.84	0%	0%	1.00

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
18	0	2	20					
16	0	1	17					
13	0	1	14					
23	0	0	23	74	0.80	0%	5%	0.95

Mov D4

P	TP	C	Tot
0	6	0	6
0	5	0	5
0	4	0	4
0	6	0	6

		Et=Eb 2					
TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
0	0	53					
0	3	47					
0	2	59					
0	1	65	224	0.86	0%	3%	0.97

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
35	0	3	38					
46	0	1	47					
35	0	1	36					
32	1	1	34	155	0.82	1%	4%	0.96

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
177	0	2	179					
176	0	2	178					
112	0	2	114					
139	2	2	143	614	0.86	0%	1%	0.98

0.83

		Et=Eb 2					
TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
0	0	24					
0	5	32					
0	3	31					
0	1	42	129	0.77	0%	7%	0.93

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
19	0	1	20					
26	0	1	27					
22	0	0	22					
25	0	1	26	95	0.88	0%	3%	0.97

		Et=Eb 2						
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	fvp
96	0	2	98					
79	0	5	84					
100	0	6	106					
104	0	8	112	400	0.89	0%	5%	0.95

0.82

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Aforos Vespertinos.

Isabel la Católica y Mesones

HORA	Patrones	Bicicletas	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES			
			A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
13:00	37	40	106	40	8	46	5			4	3	4	5	
13:15	13:30	136	63	337	29	38	86	9		1	11	2	6	
13:30	13:45	65	50	155	17	19	35	4		2	2	0	0	
13:45	14:00	85	59	97	56	13	28	3		0	1	1	0	
14:00	14:15	93	79	118	18	21	27	4		5	3	2	0	
14:15	14:30	323	212											
14:30	14:45													
14:45	15:00													

Isabel la Católica y Rep. del Salvador

HORA	Patrones	Bicicletas	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES			
			A1	A4	A3	D1	D4	C1	C3	A1	D1	D4	C1	C3
13:00	348	93	227	6	20	10	14	6		3	6	4	2	
13:15	33:30	442	110	157	3	22	7	5		4	5	4	4	
13:30	13:45	520	131	177	5	16	0	9		7	4	4	0	
13:45	14:00	320	140	183	2	20	3	10		4	4	5	1	
14:00	14:15	359	151	176	3	21	7	9		5	3	2	0	
14:15	14:30	307	120	157	6	22	3	7		4	5	4	3	
14:30	14:45	4530	474											
14:45	15:00													

Isabel la Católica y Rep. de Uruguay

HORA	Patrones	Bicicletas	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES			
			A1	A5	F1	E5	A1	A5	F1	E5	A1	A5	F1	E5
13:00	263	95	144	40	64	162	8			0	5	0	3	
13:15	13:30	426	137	128	43	74	96	6		0	1	0	3	
13:30	13:45	476	191	129	33	59	96	1		2	2	1	2	
13:45	14:00	336	187	168	50	52	84	6		0	2	1	1	
14:00	14:15	266	222	137	44	68	108	5		0	1	1	4	
14:15	14:30	269	139	164	36	68	93	10		0	2	1	2	
14:30	14:45	1847	739											
14:45	15:00													

Isabel la Católica y Venustiano Carranza

HORA	Patrones	Bicicletas	PARTICULAR				TRANSPORTE PÚBLICO				CAMIONES			
			A1	A6	F1	F6	A1	A6	F1	F6	A1	A6	F1	F6
13:00	13:15	153	45	152	29	26	80					2	5	
13:15	13:30	185	31	204	42	19	71					0	1	
13:30	13:45	176	35	157	38	35	73					2	2	
13:45	14:00	203	60	209	45	30	64					0	0	
14:00	14:15	166	22	192	33	36	95			1		0	0	
14:15	14:30	150	57	254	27	37	71					0	0	
14:30	14:45	695	174											
14:45	15:00													

Mov A1										Mov A2										Mov B1									
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp
196	5	4	205							219	0	3	43							8	0								
337	9	1	347							29	0	11	40							38	0								
155	4	2	161							17	0	2	19							19	0								
97	3	0	100	813						16	0	1	17	119						13	0								
118	4	5	127	735	0.59	3%	1%	0.97		18	0	3	21	97	0.69	0%	14%	0.88		21	0								

Mov A1										Mov A4										Mov A3									
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp
227	6	4	237							6	0	0	6							20	0								
157	4	4	165							3	0	0	3							22	0								
177	7	0	184							5	0	0	5							16	0								
183	4	1	188	774	0.82	3%	1%	0.95		2	0	0	2	16	0.67	0%	0%	1.00		20	0								
176	5	0	181	718						3	0	0	3	13						21	0								
157	4	3	164	717						6	0	0	6	16						22	0								

Mov A1										Mov A5										Mov E1									
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp
144	8	5	157							40	0	0	40							64	0								
128	6	1	135							43	0	0	43							74	0								
129	1	2	132							33	0	1	34							59	0								
168	6	2	176	600	0.89	4%	1%	0.95		50	0	1	51	168	0.85	0%	2%	0.98		52	0								
137	5	1	143	586						44	0	1	45	173						68	0								
164	10	2	176	627						36	0	1	37	167						68	0								

Mov A1										Mov A6										Mov F1									
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp	P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	%F	Exp
152	0	0	152							29	0	2	31							26	0								
204	0	0	204							38	0	2	40							19	0								
157	0	0	157							45	0	2	47							35	0								
209	0	0	209	722	0.80	0%	0%	1.00		45	0	0	45	158	0.89	0%	1%	0.99		30	0								
192	0	0	192	762						33	0	0	33	160						36	1								
254	0	0	254	812						27	0	0	27	145						37	0								

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.



		E1-Eb		2		
C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
4	12					
0	10					
3	14	88				
2	23	96	0.60	0%	5%	0.95

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
46	0	3	51					
85	0	0	32					
28	0	0	23	306				
27	0	0	27	182	0.56	0%	5%	0.95

0.61

		E1-Eb		2		
C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
0	20					
0	22					
0	16					
0	20	78	0.90	0%	0%	1.00
0	22	79				
0	22	79				

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
10	0	0	10					
7	0	0	7					
0	0	0	0					
0	0	0	3	38	0.75	0%	0%	1.00
3	0	0	3	13				

		E1-Eb		2		
C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
3	67					
3	77					
1	60					
1	53	257	0.84	0%	2%	0.98
1	69	289				
2	70	254				

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
162	0	3	165					
96	0	0	96					
96	2	2	100					
84	0	0	84	446	0.67	0%	1%	0.98
108	0	4	112	392				
93	0	0	93	389				

0.81

		E1-Eb		2		
C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
5	31					
1	20					
2	37					
0	30	118	0.95	1%	1%	0.98
0	37	124				
0	37	141				

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
80	0	0	80					
71	0	0	71					
73	0	0	73					
64	0	0	64	288	0.80	0%	0%	1.00
95	0	0	95	308				
71	0	0	71	308				

0.86

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
14	0	2	16					
5	0	4	9					
9	0	0	9					
10	0	3	11	48	0.70	0%	16%	0.87
9	0	3	10	38				

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
0	3	0	3					
0	5	0	5					
0	4	0	4					
0	3	0	3	18	0.80	100%	0%	0.50
0	5	0	5	18				

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
10	0	0	10					
7	0	0	7					
0	0	0	0					
0	0	0	3	38	0.75	0%	0%	1.00
3	0	0	3	13				

		E1-Eb		2		
C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
0	20					
0	22					
0	16					
0	20	78	0.90	0%	0%	1.00
0	22	79				
0	22	79				

		E1-Eb		2				
P	TP	C	Tot	VHMD	FHP	%B	%C	Fyp
14	0	2	16					
5	0	4	9					
9	0	0	9					
10	0	3	11	48	0.70	0%	16%	0.87
9	0	3	10	38				

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Anexo 2. Tablas para análisis arterial capítulo 15 del HCM '00.

Tabla 15-2 Nivel de Servicio para Arterias urbanas.

EXHIBIT 15-2. URBAN STREET LOS BY CLASS

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of free-flow speeds (FFS)	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
Typical FFS	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Average Travel Speed (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
D	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

Anexo 3. Tablas HCM '00.

HCM '00 Tabla 16-2 Criterios de Nivel de Servicio para Intersecciones Semaforizadas.

EXHIBIT 16-2. LOS CRITERIA FOR SIGNALIZED INTERSECTIONS

LOS	Control Delay per Vehicle (s/veh)
A	≤ 10
B	> 10-20
C	> 20-35
D	> 35-55
E	> 55-80
F	> 80

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Anexo 4. Formatos HCM '00.

Intersección de Isabel la Católica y Mesones.

INPUT WORKSHEET												
General Information						Site Information						
Analyst	Alejandro Mejía					Intersection	I. La C y Mesones					
Agency or Company	UACM					Area Type	<input checked="" type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other					
Date Performed	30/05/2023					Jurisdiction	CDMX					
Analysis Time Period	1 H					Analysis Year	2023					
Intersection Geometry												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹
Volume, V (veh/h)					381	302	240	1436				
% heavy vehicles, % HV					0.02	0.05	0.04	0.03				
Peak-hour factor, PHF					0.80	0.64	0.81	0.59				
Pretimed (P) or actuated (A)					P		P					
Start-up lost time, l ₁ (s)												
Extension of effective green time, e (s)					39		71					
Arrival type, AT					6		6					
Approach pedestrian volume, ² v _{ped} (p/h)	155			158			351			241		
Approach bicycle volume, ² v _{bic} (bicycles/h)	35			22			40			50		
Parking (Y or N)				N			N					
Parking maneuvers, N _m (maneuvers/h)												
Bus stopping, N _b (buses/h)				N			N					
Min. timing for pedestrians, ³ G _p (s)												
Signal Phasing Plan												
D I A G R A M	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø7	Ø8				
Timing	G = 71 Y = 3	G = 39 Y = 3	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	Cycle length, C = 116 s			
	Protected turns			Permitted turns Pedestrian								
Notes												
1. RT volumes, as shown, exclude RTOR. 2. Approach pedestrian and bicycle volumes are those that conflict with right turns from the subject approach. 3. Refer to Equation 16-2.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description _____												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume, V (veh/h)					381	302	240	1436				
Peak-hour factor, PHF					0.80	0.64	0.81	0.59				
Adjusted flow rate, $v_p = V/PHF$ (veh/h)					476	472	296	2434				
Lane group												
Adjusted flow rate in lane group, v (veh/h)					948			2730				
Proportion ¹ of LT or RT (P_{LT} or P_{RT})					-	0.50	0.11	-				
Saturation Flow Rate (see Exhibit 16-7 to determine adjustment factors)												
Base saturation flow, s_0 (pc/h/ln)					1900			1900				
Number of lanes, N					2			2				
Lane width adjustment factor, f_w					0.95			0.93				
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV}					0.97			0.99				
Grade adjustment factor, f_g					1			1				
Parking adjustment factor, f_p					1			1				
Bus blockage adjustment factor, f_{bb}					1			1				
Area type adjustment factor, f_a					0.90			0.90				
Lane utilization adjustment factor, f_{LU}					0.95			0.95				
Left-turn adjustment factor, f_{LT}					1			0.99				
Right-turn adjustment factor, f_{RT}					0.92			1				
Left-turn ped/bike adjustment factor, f_{Lpb}					1			1				
Right-turn ped/bike adjustment factor, f_{Rpb}					1			1				
Adjusted saturation flow, s (veh/h)					2754			2961				
$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$												
Notes												
1. $P_{LT} = 1.000$ for exclusive left-turn lanes, and $P_{RT} = 1.000$ for exclusive right-turn lanes. Otherwise, they are equal to the proportions of turning volumes in the lane group.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.




CAPACITY AND LOS WORKSHEET							
General information							
Project Description							
Capacity Analysis							
Phase number			1		2		
Phase type	E-W		W-E		N-S		S-N
Lane group							
Adjusted flow rate, v (veh/h)			948		2730		
Saturation flow rate, s (veh/h)			2754		2961		
Lost time, t _l (s), t _l = l ₁ + Y - e			3		3		
Effective green time, g (s), g = G + Y - t _l			39		71		
Green ratio, g/C			0.34		0.61		
Lane group capacity, ¹ c = s(g/C), (veh/h)			936		1806		
v/c ratio, X			1.019		1.49		
Flow ratio, v/s			0.34		0.91		
Critical lane group/phase (√)							
Sum of flow ratios for critical lane groups, Y _c Y _c = Σ (critical lane groups, v/s)			2.51				
Total lost time per cycle, L (s)			6				
Critical flow rate to capacity ratio, X _c X _c = (Y _c)(C)/(C - L)			2.64				
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination							
	EB		WB		NB		SB
Lane group							
Adjusted flow rate, ² v (veh/h)			948		2730		
Lane group capacity, ² c (veh/h)			936		1806		
v/c ratio, ² X = v/c			1.019		1.49		
Total green ratio, ² g/C			0.34		0.61		
Uniform delay, d ₁ = $\frac{0.50 C [1 - (g/C)]^2}{1 - [\min(1, X)g/C]}$ (s/veh)			38.5		22.5		
Incremental delay calibration, ³ k			0.5		0.5		
Incremental delay, ⁴ d ₂ d ₂ = 900T[(X - 1) + √((X - 1) ² + $\frac{8k(X)}{c}$)] (s/veh)			34.63		223.4		
Initial queue delay, d ₃ (s/veh) (Appendix F)			0		0		
Uniform delay, d ₁ (s/veh) (Appendix F)			38.5		22.5		
Progression adjustment factor, PF			0.66		0.96		
Delay, d = d ₁ (PF) + d ₂ + d ₃ (s/veh)			73.13		245.9		
LOS by lane group (Exhibit 16-2)			E		F		
Delay by approach, d _A = $\frac{\sum(d)(v)}{\sum v}$ (s/veh)			53.99		19.37		
LOS by approach (Exhibit 16-2)			D		B		
Approach flow rate, v _A (veh/h)			683		1676		
Intersection delay, d _I = $\frac{\sum(d_A)(v_A)}{\sum v_A}$ (s/veh)	195.9		Intersection LOS (Exhibit 16-2)				F
Notes							
1. For permitted left turns, the minimum capacity is (1 + P _l)(3600/C).							
2. Primary and secondary phase parameters are summed to obtain lane group parameters.							
3. For pretimed or nonactuated signals, k = 0.5. Otherwise, refer to Exhibit 16-13.							
4. T = analysis duration (h); typically T = 0.25, which is for the analysis duration of 15 min.							
l = upstream filtering metering adjustment factor; l = 1 for isolated intersections.							

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Intersección de Isabel la Católica y República del Salvador.

INPUT WORKSHEET												
General Information						Site Information						
Analyst			Alejandro Mejía			Intersection			I. La C y Rep. del Salvador			
Agency or Company			UACM			Area Type			<input checked="" type="checkbox"/> CBD		<input type="checkbox"/> Other	
Date Performed			30/05/2023			Jurisdiction			CDMX			
Analysis Time Period			1 H			Analysis Year			2023			
Intersection Geometry												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹
Volume, V (veh/h)	94	48		48	118	21	1065	108				
% heavy vehicles, % HV	0.01	1		1	0.05	0.0	0.06	0.0				
Peak-hour factor, PHF	0.82	0.83		0.88	0.80	0.90	0.83	0.90				
Pretimed (P) or actuated (A)		P		P		P						
Start-up lost time, I ₁ (s)												
Extension of effective green time, e (s)		45		45		60						
Arrival type, AT		6		6		6						
Approach pedestrian volume, ² v _{ped} (p/h)		903		786		799				705		
Approach bicycle volume, ² v _{bic} (bicycles/h)		272		269		251				220		
Parking (Y or N)		N		N		N						
Parking maneuvers, N _m (maneuvers/h)												
Bus stopping, N _b (buses/h)		N		N		N						
Min. timing for pedestrians, ³ G _p (s)												
Signal Phasing Plan												
D I A G R A M	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø7	Ø8				
Timing	G = 60 Y = 3	G = 45 Y = 3	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =			
						Cycle length, C = <u>111</u> s						
Notes												
<ol style="list-style-type: none"> 1. RT volumes, as shown, exclude RTOR. 2. Approach pedestrian and bicycle volumes are those that conflict with right turns from the subject approach. 3. Refer to Equation 16-2. 												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description.....												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume, V (veh/h)	94	48			48	118	21	1065	108			
Peak-hour factor, PHF	0.82	0.83			0.88	0.80	0.90	0.83	0.90			
Adjusted flow rate, $v_p = V/PHF$ (veh/h)	115	58			55	148	23	1283	120			
Lane group												
Adjusted flow rate in lane group, v (veh/h)	173			203			1426					
Proportion ¹ of LT or RT (P_{LT} or P_{RT})	0.66	-			-	0.73	0.02	-	0.08			
Saturation Flow Rate (see Exhibit 16-7 to determine adjustment factors)												
Base saturation flow, s_0 (pc/h/ln)	1900			1900			1900					
Number of lanes, N	1			1			2					
Lane width adjustment factor, f_w	0.93			0.93			0.96					
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV}	0.99			0.99			0.95					
Grade adjustment factor, f_g	1			1			1					
Parking adjustment factor, f_p	1			1			1					
Bus blockage adjustment factor, f_{bb}	1			1			1					
Area type adjustment factor, f_a	0.90			0.90			0.90					
Lane utilization adjustment factor, f_{LU}	0.95			1			0.95					
Left-turn adjustment factor, f_{LT}	0.70			1			1					
Right-turn adjustment factor, f_{RT}	1			0.90			0.98					
Left-turn ped/bike adjustment factor, f_{Lpb}	1			1			1					
Right-turn ped/bike adjustment factor, f_{Rpb}	1			1			1					
Adjusted saturation flow, s (veh/h)	1111			1415			2896					
$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$												
Notes												
1. $P_{LT} = 1.000$ for exclusive left-turn lanes, and $P_{RT} = 1.000$ for exclusive right-turn lanes. Otherwise, they are equal to the proportions of turning volumes in the lane group.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

CAPACITY AND LOS WORKSHEET							
General information							
Project Description -----							
Capacity Analysis							
Phase number		1	2				
Phase type	E-W	W-E	N-S			S-N	
Lane group							
Adjusted flow rate, v (veh/h)	173	203	1426				
Saturation flow rate, s (veh/h)	1111	1415	2896				
Lost time, t _L (s), t _L = l ₁ + Y - e	3	3	3				
Effective green time, g (s), g = G + Y - t _L	45	45	60				
Green ratio, g/C	0.41	0.41	0.54				
Lane group capacity, c = s(g/C), (veh/h)	456	580	1564				
v/c ratio, X	0.38	0.35	0.91				
Flow ratio, v/s	0.16	0.14	0.49				
Critical lane group/phase (v)							
Sum of flow ratios for critical lane groups, Y _c Y _c = Σ (critical lane groups, v/s)	1.29						
Total lost time per cycle, L (s)	6						
Critical flow rate to capacity ratio, X _c X _c = (Y _c)(C)/(C - L)	1.36						
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination							
	EB	WB	NB			SB	
Lane group							
Adjusted flow rate, ² v (veh/h)	173	203	1426				
Lane group capacity, ² c (veh/h)	456	580	1564				
v/c ratio, ² X = v/c	0.38	0.35	0.91				
Total green ratio, ² g/C	0.41	0.41	0.54				
Uniform delay, d ₁ = $\frac{0.50 C [1 - (g/C)]^2}{1 - [\min(1, X)g/C]}$ (s/veh)	25.55	24.56	23.09				
Incremental delay calibration, ³ k	0.5	0.5	0.5				
Incremental delay, ⁴ d ₂ d ₂ = $900T[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kX}{cT}}]$ (s/veh)	2.57	1.66	9.35				
Initial queue delay, d ₃ (s/veh) (Appendix F)	0	0	0				
Uniform delay, d ₁ (s/veh) (Appendix F)	25.55	24.56	26.04				
Progression adjustment factor, PF	0.54	0.54	0.21				
Delay, d = d ₁ (PF) + d ₂ + d ₃ (s/veh)	28.12	26.22	32.44				
LOS by lane group (Exhibit 16-2)	C	C	C				
Delay by approach, d _A = $\frac{\sum(d)(v)}{\sum v}$ (s/veh)	28.12	26.22	32.44				
LOS by approach (Exhibit 16-2)	C	C	C				
Approach flow rate, v _A (veh/h)	142	166	1194				
Intersection delay, d _I = $\frac{\sum(d_A)(v_A)}{\sum v_A}$ (s/veh)	31.34	Intersection LOS (Exhibit 16-2)				C	
Notes							
1. For permitted left turns, the minimum capacity is (1 + P _L)(3600/C).							
2. Primary and secondary phase parameters are summed to obtain lane group parameters.							
3. For pretimed or nonactuated signals, k = 0.5. Otherwise, refer to Exhibit 16-13.							
4. T = analysis duration (h); typically T = 0.25, which is for the analysis duration of 15 min. l = upstream filtering metering adjustment factor; l = 1 for isolated intersections.							

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Intersección de Isabel la Católica y República de Uruguay.

INPUT WORKSHEET												
General Information						Site Information						
Analyst	Alejandro Mejia					Intersection	I. La C y Rep. de Uruguay					
Agency or Company	UACM					Area Type	<input checked="" type="checkbox"/> CBD			<input type="checkbox"/> Other		
Date Performed	30/05/2023					Jurisdiction	CDMX					
Analysis Time Period	1 H					Analysis Year	2023					
Intersection Geometry												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹
Volume, V (veh/h)					728	381	280	737				
% heavy vehicles, % HV					0.02	0.02	0.03	0.05				
Peak-hour factor, PHF					0.86	0.84	0.86	0.89				
Pretimed (P) or actuated (A)					P		P					
Start-up lost time, l ₁ (s)												
Extension of effective green time, e (s)					41		69					
Arrival type, AT					6		6					
Approach pedestrian volume, ² v _{ped} (p/h)	345			327			327			292		
Approach bicycle volume, ² v _{bic} (bicycles/h)	18			15			24			19		
Parking (Y or N)				N			N					
Parking maneuvers, N _m (maneuvers/h)												
Bus stopping, N _b (buses/h)				N			N					
Min. timing for pedestrians, ³ G _p (s)												
Signal Phasing Plan												
D I A G R A M	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø7	Ø8				
Timing	G = 69 Y = 3	G = 41 Y = 3	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =				
	Protected turns			Permitted turns Pedestrian			Cycle length, C = 116 s					
Notes												
1. RT volumes, as shown, exclude RTOR.												
2. Approach pedestrian and bicycle volumes are those that conflict with right turns from the subject approach.												
3. Refer to Equation 16-2.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description _____												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume, V (veh/h)					728	381	280	737				
Peak-hour factor, PHF					0.86	0.84	0.86	0.89				
Adjusted flow rate, $v_p = V/PHF$ (veh/h)					847	454	326	828				
Lane group												
Adjusted flow rate in lane group, v (veh/h)					1301			1154				
Proportion ¹ of LT or RT (P_{LT} or P_{RT})					-	0.35	0.28	-				
Saturation Flow Rate (see Exhibit 16-7 to determine adjustment factors)												
Base saturation flow, s_0 (pc/h/ln)					1900			1900				
Number of lanes, N					2			2				
Lane width adjustment factor, f_w					0.92			0.96				
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV}					0.98			0.96				
Grade adjustment factor, f_g					1			1				
Parking adjustment factor, f_p					1			1				
Bus blockage adjustment factor, f_{bb}					1			1				
Area type adjustment factor, f_a					0.90			0.90				
Lane utilization adjustment factor, f_{LU}					0.95			0.95				
Left-turn adjustment factor, f_{LT}					1			0.99				
Right-turn adjustment factor, f_{RT}					0.94			1				
Left-turn ped/bike adjustment factor, f_{Lpb}					1			1				
Right-turn ped/bike adjustment factor, f_{Rpb}					1			1				
Adjusted saturation flow, s (veh/h)					2804			2922				
$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$												
Notes												
1. $P_{LT} = 1.000$ for exclusive left-turn lanes, and $P_{RT} = 1.000$ for exclusive right-turn lanes. Otherwise, they are equal to the proportions of turning volumes in the lane group.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

CAPACITY AND LOS WORKSHEET							
General information							
Project Description _____							
Capacity Analysis							
Phase number			1		2		
Phase type	E-W		W-E		N-S		S-N
Lane group							
Adjusted flow rate, v (veh/h)			1301		1154		
Saturation flow rate, s (veh/h)			2804		2922		
Lost time, t _L (s), t _L = l ₁ + Y - e			3		3		
Effective green time, g (s), g = G + Y - t _L			41		69		
Green ratio, g/C			0.35		0.59		
Lane group capacity, ¹ c = s(g/C), (veh/h)			981		1724		
v/c ratio, X			1.33		0.67		
Flow ratio, v/s			0.46		0.39		
Critical lane group/phase (v)							
Sum of flow ratios for critical lane groups, Y _c Y _c = Σ (critical lane groups, v/s)			2				
Total lost time per cycle, L (s)			6				
Critical flow rate to capacity ratio, X _c X _c = (Y _c)(C)/(C - L)			2.1				
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination							
	EB		WB		NB		SB
Lane group							
Adjusted flow rate, ² v (veh/h)			1301		1154		
Lane group capacity, ² c (veh/h)			981		1724		
v/c ratio, ² X = v/c			1.33		0.67		
Total green ratio, ² g/C			0.35		0.59		
Uniform delay, d ₁ = $\frac{0.50 C [1 - (g/C)^2]}{1 - \min(1, X)(g/C)}$ (s/veh)			37.7		16.12		
Incremental delay calibration, ³ k			0.5		0.5		
Incremental delay, ⁴ d ₂ d ₂ = 900T[(X - 1) + √((X - 1) ² + $\frac{8kX}{2T}$)] (s/veh)			155.4		2.09		
Initial queue delay, d ₃ (s/veh) (Appendix F)			0		0		
Uniform delay, d ₁ (s/veh) (Appendix F)			37.70		16.12		
Progression adjustment factor, PF			0.64		0.04		
Delay, d = d ₁ (PF) + d ₂ + d ₃ (s/veh)			193.1		18.21		
LOS by lane group (Exhibit 16-2)			F		B		
Delay by approach, d _A = $\frac{\sum(d)(v)}{\sum v}$ (s/veh)			193.1		18.21		
LOS by approach (Exhibit 16-2)			F		B		
Approach flow rate, v _A (veh/h)			1109		1017		
Intersection delay, d _I = $\frac{\sum(d_A)(v_A)}{\sum v_A}$ (s/veh)	109.43		Intersection LOS (Exhibit 16-2)				F
Notes							
1. For permitted left turns, the minimum capacity is (1 + P _L)(3600/C).							
2. Primary and secondary phase parameters are summed to obtain lane group parameters.							
3. For pretimed or nonactuated signals, k = 0.5. Otherwise, refer to Exhibit 16-13.							
4. T = analysis duration (h); typically T = 0.25, which is for the analysis duration of 15 min. l = upstream filtering metering adjustment factor; l = 1 for isolated intersections.							

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.







Intersección de Isabel la Católica y Venustiano Carranza.

INPUT WORKSHEET												
General Information						Site Information						
Analyst	Alejandro Mejía					Intersection	I. La C y Venustiano Carranza					
Agency or Company	UACM					Area Type	<input checked="" type="checkbox"/> CBD			<input type="checkbox"/> Other		
Date Performed	30/05/2023					Jurisdiction	CDMX					
Analysis Time Period	1 H					Analysis Year	2023					
Intersection Geometry												
						<p>○ = Pedestrian Button</p> <p>— = Lane Width</p> <p>↑ = Through</p> <p>↘ = Right</p> <p>↙ = Left</p> <p>↑↘ = Through + Right</p> <p>↙↑ = Left + Through</p> <p>↙↘ = Left + Right</p> <p>↑↙↘ = Left + Through + Right</p>						
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹	LT	TH	RT ¹
Volume, V (veh/h)	159	472						1016	361			
% heavy vehicles, % HV	0.02	0.05						0.00	0.01			
Peak-hour factor, PHF	0.95	0.89						0.80	0.89			
Pretimed (P) or actuated (A)		P						P				
Start-up lost time, l_1 (s)												
Extension of effective green time, e (s)		38						74				
Arrival type, AT		6						6				
Approach pedestrian volume, ² v_{ped} (p/h)		319			251			287				285
Approach bicycle volume, ² v_{bic} (bicycles/h)		20			12			55				57
Parking (Y or N)		N						N				
Parking maneuvers, N_m (maneuvers/h)												
Bus stopping, N_b (buses/h)		N						N				
Min. timing for pedestrians, ³ G_p (s)												
Signal Phasing Plan												
D I A G R A M	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø7	Ø8				
Timing	G = 74 Y = 3	G = 38 Y = 3	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =	G = Y =			
Protected turns			Permitted turns Pedestrian			Cycle length, C = 118 s						
Notes												
1. RT volumes, as shown, exclude RTOR. 2. Approach pedestrian and bicycle volumes are those that conflict with right turns from the subject approach. 3. Refer to Equation 16-2.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description _____												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume, V (veh/h)	159	472						1016	361			
Peak-hour factor, PHF	0.95	0.89						0.80	0.89			
Adjusted flow rate, $v_p = V/PHF$ (veh/h)	167	530						1270	406			
Lane group												
Adjusted flow rate in lane group, v (veh/h)	697									1676		
Proportion ¹ of LT or RT (P_{LT} or P_{RT})	0.24	-						-	0.24			
Saturation Flow Rate (see Exhibit 16-7 to determine adjustment factors)												
Base saturation flow, s_0 (pc/h/ln)	1900									1900		
Number of lanes, N	2									2		
Lane width adjustment factor, f_w	1									1		
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV}	0.959									0.998		
Grade adjustment factor, f_g	1									1		
Parking adjustment factor, f_p	1									1		
Bus blockage adjustment factor, f_{bb}	1									0.99		
Area type adjustment factor, f_a	0.90									0.90		
Lane utilization adjustment factor, f_{LU}	0.95									0.952		
Left-turn adjustment factor, f_{LT}	0.988									1		
Right-turn adjustment factor, f_{RT}	1									0.964		
Left-turn ped/bike adjustment factor, f_{Lpb}	1									1		
Right-turn ped/bike adjustment factor, f_{Rpb}	1									1		
Adjusted saturation flow, s (veh/h) $s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$	3085									3099		
Notes												
1. $P_{LT} = 1.000$ for exclusive left-turn lanes, and $P_{RT} = 1.000$ for exclusive right-turn lanes. Otherwise, they are equal to the proportions of turning volumes in the lane group.												

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

CAPACITY AND LOS WORKSHEET							
General information							
Project Description							
Capacity Analysis							
Phase number			1		2		
Phase type	E-W		W-E		N-S		S-N
Lane group							
Adjusted flow rate, v (veh/h)	697				1676		
Saturation flow rate, s (veh/h)	3085				3099		
Lost time, t _L (s), t _L = I ₁ + Y - e	3				3		
Effective green time, g (s), g = G + Y - t _L	38				74		
Green ratio, g/C	0.32				0.63		
Lane group capacity, ¹ c = s(g/C), (veh/h)	985				1952		
v/c ratio, X	0.70				0.86		
Flow ratio, v/s	0.23				0.54		
Critical lane group/phase (√)							
Sum of flow ratios for critical lane groups, Y _c Y _c = Σ (critical lane groups, v/s)			1.56				
Total lost time per cycle, L (s)			6				
Critical flow rate to capacity ratio, X _c X _c = (Y _c)(C)/(C - L)			1.64				
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination							
	EB		WB		NB		SB
Lane group							
Adjusted flow rate, ² v (veh/h)	697				1676		
Lane group capacity, ² c (veh/h)	985				1952		
v/c ratio, ² X = v/c	0.70				0.86		
Total green ratio, ² g/C	0.32				0.63		
Uniform delay, d ₁ = $\frac{0.50 C [1 - (g/C)]^2}{1 - [\min(1, X)g/C]}$ (s/veh)	35.16				17.62		
Incremental delay calibration, ³ k	0.5				0.5		
Incremental delay, ⁴ d ₂ d ₂ = $900T[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kX}{c}}]$ (s/veh)	4.14				5.23		
Initial queue delay, d ₃ (s/veh) (Appendix F)	0				0		
Uniform delay, d ₁ (s/veh) (Appendix F)	35.16				17.62		
Progression adjustment factor, PF	0.686				0.134		
Delay, d = d ₁ (PF) + d ₂ + d ₃ (s/veh)	39.30				22.85		
LOS by lane group (Exhibit 16-2)	D				C		
Delay by approach, d _A = $\frac{\sum(d)(v)}{\sum v}$ (s/veh)	39.30				22.85		
LOS by approach (Exhibit 16-2)	D				C		
Approach flow rate, v _A (veh/h)	631				1377		
Intersection delay, d _I = $\frac{\sum(d_A)(v_A)}{\sum v_A}$ (s/veh)	28.26		Intersection LOS (Exhibit 16-2)				C
Notes							
1. For permitted left turns, the minimum capacity is (1 + P _L)(3600/C).							
2. Primary and secondary phase parameters are summed to obtain lane group parameters.							
3. For pretimed or nonactuated signals, k = 0.5. Otherwise, refer to Exhibit 16-13.							
4. T = analysis duration (h); typically T = 0.25, which is for the analysis duration of 15 min. I = upstream filtering metering adjustment factor; I = 1 for isolated intersections.							

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Anexo 5. Formato análisis arterial.

URBAN STREET WORKSHEET								
General Information				Site Information				
Analyst	Alejandro Mejia			Urban Street	Isabel la Católica			
Agency or Company	UACM			Direction of Travel	S-N			
Date Performed				Jurisdiction	CDMX			
Analysis Time Period	HMD			Analysis Year	2023			
<input checked="" type="checkbox"/> Operational (LOS) <input type="checkbox"/> Design (v _p) <input type="checkbox"/> Planning (LOS) <input type="checkbox"/> Planning (v _p) Analysis Period, T = <u>1</u> h								
Input Parameters								
	Segments							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cycle length, C (s)	116	111	116	118				
Effective green-to-cycle-length ratio, g/C	0.61	0.54	0.59	0.63				
w/c ratio for lane group, X	1.49	0.90	0.66	0.86				
Capacity of lane group, c (veh/h)	1900	1900	1900	1900				
Arrival type, AT	6	6	6	6				
Length of segment, L (km)	0.080	0.120	0.100	0.091				
Initial queue, Q _b (veh)								
Urban street class, SC (Exhibit 10-3)	IV	IV	IV	IV				
Free-flow speed, FFS (km/h) (Exhibit 15-2)	40	40	40	40				
Running time, T _R (s) (Exhibit 15-3)	7.76	11.64	9.70	8.83				
Delay Computation								
Uniform delay, d ₁ (s) $d_1 = \frac{0.5C[(1-g/C)^2]}{1 - [(g/C)\min(X, 1.0)]}$	22.50	22.91	15.62	17.87				
Signal control adjustment factor, k (Exhibit 15-6)	0.5	0.5	0.5	0.5				
Upstream filtering/metering adjustment factor, l (Exhibit 15-7)	1	0.314	0.697	0.388				
Incremental delay, d ₂ (s) $d_2 = 900 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8kX}{cT}} \right]$	222.76	2.63	1.25	2.22				
Initial queue delay, d ₃ (s) (Ch. 16 Appendix F)	0	0	0	0				
Progression adjustment factor, PF (Exhibit 15-5)	0	0	0	0				
Control delay, d (s) d = (d ₁ * PF) + d ₂ + d ₃	222.76	2.63	1.25	2.22				
Segment LOS Determination								
Segment travel time, ST (s) ST = T _R + d + Other delay	230.53	14.28	10.95	11.05				
Segment travel speed, S _A (km/h) $S_A = \frac{3600(L)}{ST}$	1.25	30.26	32.87	29.64				
Segment LOS (Exhibit 15-2)	F	D	C	D				
Urban Street LOS Determination								
Total travel time = $\sum ST$				266.81	s			
Total length = $\sum L$				0.391	km			
Total travel speed, S _A = $\frac{3600 * \text{Total length}}{\text{Total travel time}}$				5.28	km/h			
Total urban street LOS (Exhibit 15-2)				F				

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Anexo 6. Tabla análisis arterial.

Tabla. 15-3 Tiempo de Seguimiento por Kilómetro.

EXHIBIT 15-3. SEGMENT RUNNING TIME PER KILOMETER

Urban Street Class	I			II			III		IV		
	90 ^a	80 ^a	70 ^a	70 ^a	65 ^a	55 ^a	55 ^a	50 ^a	55 ^a	50 ^a	40 ^a
Average Segment Length (m)	Running Time per Kilometer (s/km)										
100	b	b	b	b	b	b	-	-	-	129	159
200	b	b	b	b	b	b	88	91	97	99	125
400	59	63	67	66	68	75	75	78	77	81	96
600	52	55	61	60	61	67	d	d	d	d	d
800	45	49	57	56	58	65	d	d	d	d	d
1000	44	48	56	55	57	65	d	d	d	d	d
1200	43	47	54	54	57	65	d	d	d	d	d
1400	41	46	53	53	56	65	d	d	d	d	d
1600	40 ^c	45 ^c	51 ^c	51 ^c	55 ^c	65 ^c	d	d	d	d	d

Notes:

a. It is best to have an estimate of FFS. If there is none, use the table above, assuming the following default values:

For Class	FFS (km/h)
I	80
II	65
III	55
IV	45

b. If a Class I or II urban street has a segment length less than 400 m, (a) reevaluate the class and (b) if it remains a distinct segment, use the values for 400 m.

c. For long segment lengths on Class I or II urban streets (1600 m or longer), FFS may be used to compute running time per kilometer. These times are shown in the entries for a 1600-m segment.

d. Likewise, Class III or IV urban streets with segment lengths greater than 400 m should first be reevaluated (i.e., the classification should be confirmed). If necessary, the values above 400 m can be extrapolated.

Although this table does not show it, segment running time depends on traffic flow rates; however, the dependence of intersection delay on traffic flow rate is greater and dominates in the computation of travel speed.

Tabla 15-5 Factor de Ajuste de Progresión.

EXHIBIT 15-5. PROGRESSION ADJUSTMENT FACTORS FOR UNIFORM DELAY CALCULATION

Green Ratio (g/C)	Arrival Type (AT)					
	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
0.20	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.000	0.767	0.333	0.000
0.60	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.70	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
f_{pA}	1.00	0.93	1.00	1.15	1.00	1.00
Default, R_p	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000

Notes:

$$PF = (1 - P)f_{pA}/(1 - g/C).$$

Tabulation is based on default values of f_p and R_p .

$$P = R_p \cdot g/C \text{ (may not exceed 1.0).}$$

PF may not exceed 1.0 for AT 3 through AT 6.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 15-6 Valor de k por tipo de control.

EXHIBIT 15-6. k-VALUE FOR CONTROLLER TYPE

Unit Extension (s)	Degree of Saturation (X)					
	≤ 0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	≥ 1.0
≤ 2.0	0.04	0.13	0.22	0.32	0.41	0.50
2.5	0.08	0.16	0.25	0.33	0.42	0.50
3.0	0.11	0.19	0.27	0.34	0.42	0.50
3.5	0.13	0.20	0.28	0.35	0.43	0.50
4.0	0.15	0.22	0.29	0.36	0.43	0.50
4.5	0.19	0.25	0.31	0.38	0.44	0.50
5.0 ^a	0.23	0.28	0.34	0.39	0.45	0.50
Pretimed or Nonactuated Movement	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Notes:

For a unit extension and its k_{min} value at $X = 0.5$: $k = (1 - 2k_{min})(X - 0.5) + k_{min}$, where $k \geq k_{min}$, and $k \leq 0.5$.

a. For a unit extension more than > 5.0 , extrapolate to find k, keeping $k \leq 0.5$.

Tabla 15-7 Valores de “I” para grupo de carriles con semáforos aguas arriba.

EXHIBIT 15-7. RECOMMENDED I-VALUES FOR LANE GROUPS WITH UPSTREAM SIGNALS

	Degree of Saturation at Upstream Intersection, X_u						
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	≥ 1.0
I	0.922	0.858	0.769	0.650	0.500	0.314	0.090

Note: $I = 1.0 - 0.91 X_u^{2.68}$ and $X_u \leq 1.0$.

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Anexo 7. Tablas Modelo de Webster.

Tabla 8.5 Valores de A en el modelo de Webster.

Tabla 8.5 Valores de A para usarse en el modelo de demoras de Webster

x_j	λ_j												
	0.1	0.2	0.3	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90
0.1	0.409	0.327	0.253	0.219	0.188	0.158	0.132	0.107	0.085	0.066	0.048	0.022	0.005
0.2	0.413	0.333	0.261	0.227	0.196	0.166	0.139	0.114	0.091	0.070	0.052	0.024	0.006
0.3	0.418	0.340	0.269	0.236	0.205	0.175	0.147	0.121	0.098	0.076	0.057	0.026	0.007
0.4	0.422	0.348	0.278	0.246	0.214	0.184	0.156	0.130	0.105	0.083	0.063	0.029	0.008
0.5	0.426	0.356	0.288	0.256	0.225	0.195	0.167	0.140	0.114	0.091	0.069	0.033	0.009
0.55	0.429	0.360	0.293	0.262	0.231	0.201	0.172	0.145	0.119	0.095	0.073	0.036	0.010
0.60	0.431	0.364	0.299	0.267	0.237	0.207	0.179	0.151	0.125	0.100	0.078	0.038	0.011
0.65	0.433	0.368	0.304	0.273	0.243	0.214	0.185	0.158	0.131	0.106	0.083	0.042	0.012
0.70	0.435	0.372	0.310	0.280	0.250	0.221	0.192	0.165	0.138	0.112	0.088	0.045	0.014
0.75	0.438	0.376	0.316	0.286	0.257	0.228	0.200	0.172	0.145	0.120	0.095	0.050	0.015
0.80	0.440	0.381	0.322	0.293	0.265	0.236	0.208	0.181	0.154	0.128	0.102	0.056	0.018
0.85	0.443	0.386	0.329	0.301	0.273	0.245	0.217	0.190	0.163	0.137	0.111	0.063	0.021
0.90	0.445	0.390	0.336	0.308	0.281	0.254	0.227	0.200	0.174	0.148	0.122	0.071	0.026
0.92	0.446	0.392	0.338	0.312	0.285	0.258	0.231	0.205	0.179	0.152	0.126	0.076	0.029
0.94	0.447	0.394	0.341	0.315	0.288	0.262	0.236	0.210	0.183	0.157	0.132	0.081	0.032
0.96	0.448	0.396	0.344	0.318	0.292	0.266	0.240	0.215	0.189	0.163	0.137	0.086	0.037
0.98	0.449	0.398	0.347	0.322	0.296	0.271	0.245	0.220	0.194	0.169	0.143	0.093	0.042

Nota: Valores de A calculados de

$$A = \frac{(1 - \lambda_j)^2}{2(1 - \lambda_j x_j)}$$

Tabla 8.6 Valores de B en el modelo de Webster.

Tabla 8.6 Valores de B para usarse en el modelo de demoras de Webster

x_j	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.006	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.022
0.2	0.025	0.028	0.031	0.034	0.038	0.042	0.046	0.050	0.054	0.059
0.3	0.064	0.070	0.075	0.081	0.088	0.094	0.101	0.109	0.116	0.125
0.4	0.133	0.142	0.152	0.162	0.173	0.184	0.196	0.208	0.222	0.235
0.5	0.250	0.265	0.282	0.299	0.317	0.336	0.356	0.378	0.400	0.425
0.6	0.450	0.477	0.506	0.536	0.569	0.604	0.641	0.680	0.723	0.768
0.7	0.817	0.869	0.926	0.987	1.05	1.13	1.20	1.29	1.38	1.49
0.8	1.60	1.73	1.87	2.03	2.21	2.41	2.64	2.91	3.23	3.60
0.9	4.05	4.60	5.28	6.18	7.36	9.03	11.5	15.7	24.0	49.0

Nota: Valores de B calculados de

$$B = \frac{x_j^2}{2(1 - x_j)}$$

Análisis y propuesta de optimización semafórica de la arteria en Isabel la Católica en el tramo de Mesones a Venustiano Carranza.

Tabla 8.7 Valores de P en el modelo de Webster.

Tabla 8.7 Valores de P para usarse en el modelo de Webster

x_j	λ_j	M_j					x_j	λ_j	M_j				
		2.5	5	10	20	40			2.5	5	10	20	40
0.3	0.2	2	2	1	1	0	0.8	0.2	18	17	13	10	7
	0.4	2	1	1	0	0		0.4	16	15	13	10	9
	0.6	0	0	0	0	0		0.6	15	15	14	12	9
	0.8	0	0	0	0	0		0.8	14	15	17	17	15
0.4	0.2	6	4	3	2	1	0.9	0.2	13	14	13	11	8
	0.4	3	2	2	1	1		0.4	12	13	13	11	9
	0.6	2	2	1	1	0		0.6	12	13	14	14	12
	0.8	2	1	1	1	1		0.8	13	13	16	17	17
0.5	0.2	10	7	5	3	2	0.95	0.2	8	9	9	9	8
	0.4	6	5	4	2	1		0.4	7	9	9	10	9
	0.6	6	4	3	2	2		0.6	7	9	10	11	10
	0.8	3	4	3	3	2		0.8	7	9	10	12	13
0.6	0.2	14	11	8	5	3	0.975	0.2	8	9	10	9	8
	0.4	11	9	7	4	3		0.4	8	9	10	10	9
	0.6	9	8	6	5	3		0.6	8	9	11	12	11
	0.8	7	8	8	7	5		0.8	8	10	12	13	14
0.7	0.2	18	14	11	7	5							
	0.4	15	13	10	7	5							
	0.6	13	12	10	8	6							
	0.8	11	12	13	12	10							

Nota: M_j es el flujo real promedio por carril y por ciclo para el acceso j ésimo

$$M_j = V_j C$$

