



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

**FACULTAD DE INGENIERÍAS, TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS
COMUNICACIONES**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Licenciatura en ingeniería civil

Tesis de grado

**VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM RESPECTO A LA
REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE CENTRAL DE GRECIA,
ALAJUELA**

Juan Diego Bolaños Rodríguez

Heredia, abril 2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM RESPECTO A LA REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE CENTRAL DE GRECIA, ALAJUELA," fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



ING. JOSÉ MARIA ULATE ZÁRATE
TUTOR



ING. ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA
LECTOR



ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ, PH. D
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

**ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE
TUTOR**

**ING. ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA
LECTOR**

**ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ, PH. D
REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 9 de abril, de 2019

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM RESPECTO A LA REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE CENTRAL DE GRECIA, ALAJUELA por parte del estudiante: Juan Diego Bolaños Rodríguez, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. José María Zárate Zárate

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 9 de abril, de 2019

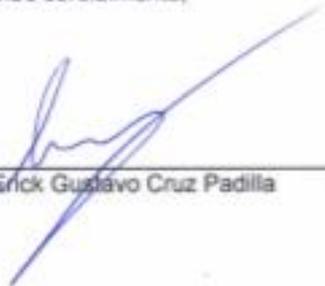
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM RESPECTO A LA REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE CENTRAL DE GRECIA, ALAJUELA por parte del estudiante: Juan Diego Bolaños Rodríguez, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Erick Gustavo Cruz Padilla

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

Cartago, 15 de abril de 2019

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, cédula de identidad número 3 0447 0799 y Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, cédula de identidad número 1 1345 0416, vecinos de Quebradilla de Cartago, en calidad de filólogos revisamos y corregimos el trabajo final de graduación que se titula: *Validación de la Metodología HCM respecto a la realidad vial urbana del cuadrante central de Grecia, Alajuela*, sustentado por Juan Diego Bolaños Rodríguez.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de forma, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. La originalidad y la validez del contenido son responsabilidad exclusiva del autor y de sus asesores.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina.



Elena Redondo Camacho

Céd. 3 0447 0799

Bachiller en Filología Española

Carné ACFIL 0247



Daniel González Monge

Céd. 1 1345 0416

Bachiller en Filología Española

Carné ACFIL 0245

**"Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del
Trabajo Final de Graduación"**
Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Bolaños Rodríguez Juan Diego

De la Carrera / Programa: Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* Tesis de grado
titulado:

Validación de la metodología HCM respecto a la realidad vial urbana del cuadrante central de Grecia, Alajuela.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día *(Día, fecha)* 9 del mes abril del año 2019 a las 15:30 . Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores *Segun orden de mención al inicio de esta carta.*



AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero dar gracias a mi papá, Juan Félix, y a mi mamá, Elizabeth, por otorgarme todas las facilidades para estudiar la carrera que siempre desee. Siempre han sido mi ejemplo, por lo duro que trabajan para conseguir los sueños, espero continuar haciéndolos más orgullosos cada día con todos los proyectos que están por venir.

A mi hermano José Fabio, por la gran ayuda que me brindó en los diversos proyectos a lo largo de mi carrera universitaria y por el apoyo que me ha brindado incondicionalmente.

A mi tutor, José María, Ulate por la ayuda brindada en el proceso de este trabajo.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mi papá y a mi mamá por ser mi modelo, toda la vida, por facilitarme estudiar la carrera universitaria que siempre desee, brindarme su apoyo incondicional y creer en mí.

EPÍGRAFE

Cuida tus pensamientos, porque estos
se convertirán en palabras.

Cuida tus palabras, porque estas
se convertirán en tus actos.

Cuida tus actos, porque estas
se convertirán en tus hábitos.

Cuida tus hábitos, porque estos
se convertirán en tu destino.

-Mahatma Gandhi

RESUMEN

Se compara la metodología HCM 2010, SYNCHRO 8 con los datos adquiridos en campo durante tres días, en las horas pico, tanto de la mañana como en la tarde. Se analizaron 2 diferentes intersecciones controladas ambas por *ALTO* y *CEDA* en el distrito de Grecia, cantón de Grecia.

Se aplicó la metodología HCM 2010, de forma manual y con el *software* Synchro 8 para obtener las demoras, longitudes de cola y niveles de servicio globales y por maniobra, a partir de los aforos vehiculares tomados en campo, las capacidades por carril e intervalos críticos y de seguimiento dictados por el MOPT.

Los resultados determinaron que no existe correlación entre los datos del SYNCHRO 8, la metodología HCM 2010 y los datos en campo, en las intersecciones analizadas del cuadrante central de Grecia.

Palabras clave: longitud de cola, demoras, nivel de servicio, aforos vehiculares.

ABSTRACT

This project compares the HCM 2010 methodology, the *software* SYNCHRO 8 against the data acquired in the field during three days in rush hour during the morning period and the afternoon period. Two intersections controlled by *STOP* and *YIELD* were analyzed in Grecia district, Grecia canton.

The methodology was developed manually and with the *software* Synchro 8 to get delay time, queue length, level of service per maneuver and global level of service from the car counting taken in field, as the lane capacity, the critical time and follow-up time given by MOPT.

The results determined that it doesn't exist any correlation between the data from the *software* SYNCHRO 8, HCM 2010 methodology and the data acquired in the field in the intersections analyzed in the central quadrant of Grecia.

Key words: Delay time, queue length, level of service, car counting.

TABLA DE CONTENIDO

Carta de Revisión Filológica.....	vii
Agradecimientos	iii
Dedicatorias	iv
Epígrafe	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
Tabla de Contenido.....	viii
Índice de Ilustraciones	xiii
Índice de Tablas.....	xvi
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Formulación del Problema	2
1.4. Hipótesis	3
1.5. Objetivo General	3
1.6. Objetivos Específicos.....	3
1.7. Justificación	3
1.8. Alcances y Limitaciones	4
1.9. Impacto	4

Capítulo 2. Marco Teórico	6
2.1. Tipos de Control Vial.....	6
2.1.1. Intersecciones Controladas por Alto	6
2.1.2. Intersecciones Controladas por Semáforos	6
2.1.3. Intersecciones Controladas por Rotondas	7
2.1.4. Intersecciones Controladas por Carril de Cambio de Velocidad.....	7
2.2. Intervalos o Brechas	7
2.2.1. Intervalos Críticos	7
2.2.2. Intervalo de Seguimiento	7
2.3. Nivel de Servicio	8
2.3.1. Nivel de Servicio A.....	9
2.3.2. Nivel de Servicio B.....	9
2.3.3. Nivel de Servicio C.....	10
2.3.4. Nivel de Servicio D.....	11
2.3.5. Nivel de Servicio E.....	12
2.3.6. Nivel de Servicio F	12
2.4. Medición del Rendimiento del Sistema	13
2.4.1. Cantidad del Servicio	14
2.4.2. Intensidad del Congestionamiento	14
2.4.3. Duración del Congestionamiento	14

2.4.4. Extensión del Congestionamiento.....	15
2.4.5. Variabilidad.....	15
2.4.6. Accesibilidad.....	15
2.5. Modos de Viaje	15
2.5.1. Modo Automóvil.....	16
2.5.2. Modo Peatón	17
2.5.3. Modo Ciclista	18
2.5.4. Modo de Transporte Público	19
2.6. Condiciones de Operación	20
2.6.1. Flujo Ininterrumpido	20
2.6.2. Flujo Interrumpido	20
2.6.3. Flujo Insaturado	21
2.6.4. Flujo Sobresaturado.....	21
2.7. Parámetros Básicos del Flujo Vehicular	22
2.8. Movimientos y Enumeración de Fases.....	23
2.9. Factores de la Problemática de Tránsito	25
2.9.1. Diferentes Tipos de Vehículos Transitando en la Misma vía.....	25
2.9.2. Falta de Planificación Vial	25
2.9.3. Falta de Educación Vial por Parte de los Conductores y Peatones	26
Capítulo 3. Marco Situacional	28

Capítulo 4. Marco metodológico.....	30
4.1. Paradigma	30
4.2. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos	30
4.2.1. Datos de Campo	30
4.3. Aforos Vehiculares	31
4.4. Mediciones de Longitud de Cola	31
4.5. Mediciones de Tiempo de Demora.....	32
4.6. Datos de Análisis de Capacidad, según la Metodología HCM 2010	33
4.7. Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda	33
4.7.1. Volúmenes Opuestos.....	33
4.8. Capacidad Potencial y Capacidad del Movimiento	36
4.9. Cálculo de Tiempo de Demora por Maniobra.....	39
4.10. Cálculo de Longitud de Cola con Percentil 95	40
4.11. Cálculo de la Demora Global de la Intersección.....	41
4.12. Técnicas e Instrumentos para el Análisis de Datos	43
Capítulo 5. Análisis de Resultados.....	44
5.1. Análisis de los Resultados de la Intersección 1	45
5.2. Aforos Vehiculares	46
5.3. Resultados Obtenidos del 14-1-2019 P. M.....	50
5.4. Resultados Obtenidos del 15-1-2019 A. M.....	53

5.5. Resultados Obtenidos del 16-1-2019 A. M.....	57
5.6. Resultados Obtenidos del 16-1-2019 P. M.....	60
5.7. Resultados Obtenidos del 17-1-2019 P. M.....	63
5.8. Resultados Obtenidos del 18-1-2019 A. M.....	66
5.9. Análisis de los Resultados de la Intersección 2.....	69
5.10. Aforos Vehiculares	70
5.11. Resultados Obtenidos del 21-1-2019 A. M.....	74
5.12. Resultados Obtenidos del 21-1-2019 P. M.....	78
5.13. Resultados Obtenidos del 22-1-2019 A. M.....	82
5.14. Resultados Obtenidos del 22-1-2019 P. M.....	86
5.15. Resultados Obtenidos del 23-1-2019 A. M.....	89
5.16. Resultados obtenidos del 23-1-2019 A. M.....	93
5.17. Gráficos Comparativos de la Intersección 1	97
5.18. Gráficos Comparativos Intersección 2.....	103
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones	111
6.1. Conclusiones	111
6.2. Recomendaciones	111
Referencias.....	113
Anexos.....	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.....	9
Ilustración 2.....	10
Ilustración 3.....	11
Ilustración 4.....	11
Ilustración 5.....	12
Ilustración 6.....	13
Ilustración 7. Ejemplo de Modo Automóvil.....	17
Ilustración 8. Ejemplo de Modo Peatón	18
Ilustración 9. Ejemplo de Modo Ciclista	19
Ilustración 10. Ejemplo Transporte Público	20
Ilustración 11. Maniobras en Intersección en Cruz.....	24
Ilustración 12. Maniobras en Intersección en T	24
Ilustración 13. Ubicación de Intersecciones 1, 2, 3.....	28
Ilustración 14. Ubicación de Intersecciones 4 y 5.....	29
Ilustración 15.....	31
Ilustración 16.....	32
Ilustración 17.....	33
Ilustración 18. Intersección Ruta 118 con Calle 4.....	34
Ilustración 19. Ejemplo de Configuración de Intersección Ruta 118 con Calle 4 en Tee	35
Ilustración 20.....	44

Ilustración 21.....	50
Ilustración 22.....	51
Ilustración 23.....	53
Ilustración 24.....	54
Ilustración 25.....	57
Ilustración 26.....	58
Ilustración 27.....	60
Ilustración 28.....	61
Ilustración 29.....	63
Ilustración 30.....	64
Ilustración 31.....	66
Ilustración 32.....	67
Ilustración 33.....	75
Ilustración 34.....	75
Ilustración 35.....	79
Ilustración 36.....	79
Ilustración 37.....	80
Ilustración 38.....	83
Ilustración 39.....	83
Ilustración 40.....	84
Ilustración 41.....	86
Ilustración 42.....	87
Ilustración 43.....	87

Ilustración 44.....	90
Ilustración 45.....	90
Ilustración 46.....	91
Ilustración 47.....	94
Ilustración 48.....	94
Ilustración 49.....	95
Ilustración 50.....	98
Ilustración 51.....	99
Ilustración 52.....	100
Ilustración 53.....	101
Ilustración 54.....	102
Ilustración 55.....	103
Ilustración 56.....	104
Ilustración 57.....	104
Ilustración 58.....	105
Ilustración 59.....	106
Ilustración 60.....	107
Ilustración 61.....	108
Ilustración 62.....	109
Ilustración 63.....	110
Ilustración 64.....	119
Ilustración 65.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Servicio en Intersecciones Controladas por Alto	8
Tabla 2. Guía para los Aforos Vehiculares	41
Tabla 3. Guía para Medir Longitudes de Cola	42
Tabla 4. Guía para Medir Tiempos de Demora	42
Tabla 5.....	44
Tabla 6.....	46
Tabla 7.....	46
Tabla 8.....	47
Tabla 9.....	48
Tabla 10.....	48
Tabla 11.....	49
Tabla 12.....	52
Tabla 13.....	56
Tabla 14.....	59
Tabla 15.....	62
Tabla 16.....	65
Tabla 17.....	68
Tabla 18.....	70
Tabla 19.....	70
Tabla 20.....	71
Tabla 21.....	72

Tabla 22.....	72
Tabla 23.....	73
Tabla 24.....	77
Tabla 25.....	81
Tabla 26.....	85
Tabla 27.....	92
Tabla 28.....	96
Tabla 13.....	97
Tabla 30.....	98
Tabla 31.....	99
Tabla 32.....	100
Tabla 33.....	101
Tabla 34.....	102
Tabla 35.....	105
Tabla 36.....	106
Tabla 37.....	107
Tabla 38.....	108
Tabla 39.....	109
Tabla 40.....	110
Tabla 41. Conteo Preliminar.....	116
Tabla 42. Conteo Preliminar.....	116
Tabla 43. Conteo Preliminar.....	117
Tabla 44. Conteo Preliminar.....	117

Tabla 45. Conteo Preliminar.....118

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La flota vehicular de Costa Rica, tanto de vehículos pesados como livianos, ha aumentado en de manera exponencial a lo largo de los años, esto se debe a las facilidades que ofrecen los entes bancarios para la compra de un vehículo, así como a los bajos precios en la mayoría automóviles, debido a la gran competencia en el mercado.

Esto ha causado que los diseños de las carreteras en queden obsoletos y, en la mayoría de los casos, el volumen vehicular, sobrepasa la capacidad, tanto en rutas primarias, secundarias y, en ocasiones, hasta en terciarias, esto genera gran inconformidad en el usuario, debido a que el tiempo promedio para llegar de punto A al punto B aumenta.

La metodología HCM 2010 originada en Estados Unidos de América, creada en 1950 bajo el patrocinio de *Bureau of Public Roads*, se inició como respuesta a la necesidad de un programa de apoyo para la construcción vial al finalizar la segunda guerra mundial, ya que en ese momento no se contaba con uniformidad para la construcción de vías.

La primera edición del manual fue un documento con datos dispersos y sujeto al criterio colectivo de los miembros de la comisión de capacidad vial, esta contenía 3 clases de capacidad: práctica, posible e ideal. La capacidad práctica es la precursora del *nivel de servicio* y se refiere a lo que podría obtenerse al conservar la operación adecuada. La capacidad posible es la *capacidad* y la capacidad ideal son las condiciones ideales de geometría y tránsito en las vías. Este manual (HCM) ha evolucionado hasta la última versión del 2010, con mayor cantidad de datos y de mejor calidad en comparación con los disponibles en versiones pasadas.

En Costa Rica se utiliza la metodología HCM 2010 y el modelaje en el *software* SYNCRHO 8, para el diseño de las vías e intersecciones, sin embargo, como se creó en Estados Unidos de América, de manera empírica, con las

observaciones del tránsito vehicular y el comportamiento promedio de los usuarios, existen grandes diferencias entre los resultados de longitud de cola y tiempos de demora. Esto evidencia que la metodología y el *software* no corresponden con la realidad de las vías en Costa Rica, por lo que la mayoría de intersecciones en Costa Rica son un caos vial y existe una gran disconformidad de los usuarios.

Costa Rica se cuenta con pocos antecedentes de este tipo de validación de la metodología HCM 2010. El más reciente fue en la zona de Escazú y comparó los datos de campo de mediciones de tiempos de demora, longitudes de cola junto con aforos vehiculares, la intersección modelada en el *software* SYNCHRO 8 y los métodos del HCM 2010. Se concluyó que no existe relación entre ninguno de estos métodos.

Estas incongruencias entre la metodología y lo que sucede en la realidad no solo suceden en Costa Rica. En Colombia, en el año 2012, se realizó un trabajo de grado sobre la aceptabilidad de los intervalos para maniobras en intersecciones de prelación vial (cuando una vía carece de señalización), en la cual se prueba que los intervalos para las maniobras deseadas por el usuario no concuerdan con los intervalos determinados por el manual de capacidad vial 2010 (HCM 2010). Por lo tanto, en cada intersección estudiada se determinan nuevos intervalos para cada maniobra, tanto críticos como de seguimiento y, de esta manera, calibrar esta metodología con las condiciones reales de la ciudad de Medellín.

1.2. Planteamiento del Problema

¿La metodología empleada en Costa Rica (HCM 2010) y el *software* utilizado para modelos de transportes (SYNCHRO 8) evidencian resultados congruentes con lo ocurrido en las intersecciones de Costa Rica?

1.3. Formulación del Problema

La metodología empleada en Costa Rica (HCM 2010) y el *software* utilizado para modelos de transportes (SYNCHRO 8) evidencian resultados que no son congruentes con lo observado durante las horas pico, lo que hace que se generen

grandes tiempos de demora y longitudes de cola completamente diferentes a los datos obtenidos con la metodología.

1.4. Hipótesis

Mediante las mediciones en campo de 2 intersecciones, se comprueba que los datos obtenidos no son congruentes con la metodología HCM 2010 y el *software* SYNCRHO 8.

1.5. Objetivo General

Validar si la metodología utilizada en el análisis de capacidad en Costa Rica se ajusta a la realidad de las intersecciones en el cuadrante central de Grecia, Alajuela.

1.6. Objetivos Específicos

1. Realizar aforos vehiculares, mediciones de longitudes de cola y tiempos de demora en 5 intersecciones diferentes en el cuadrante central de Grecia.
2. Determinar las 2 intersecciones con longitudes de cola y tiempos de demora más críticos.
3. Realizar un análisis de capacidad de las 2 intersecciones previamente escogidas.
4. Modelar las intersecciones descritas en el *software* SYNCHRO 8.
5. Comparar los datos obtenidos del *software* SYNCHRO y la metodología HCM 2010 con los datos obtenidos en campo.

1.7. Justificación

Debido a la problemática que existe en las vías de Costa Rica, ya que no hay datos reales para el análisis de intersecciones por la metodología, además del gran crecimiento de la flota vehicular, se busca obtener factores de ajuste entre la

metodología HCM 2010 y los datos tomados en campo, para que las próximas intersecciones controladas por altos o cedas se diseñen con datos más cercanos a la realidad del país o aplicar medidas correctivas.

1.8. Alcances y Limitaciones

- Se analizarán las 5 intersecciones del cuadrante central del cantón central de Grecia, que sean controladas por alto, ceda y que tengan un flujo vehicular bajo, para determinar las 2 con condiciones más críticas de longitudes de cola y tiempos de demora.
- No se tomarán en cuenta el volumen de peatones, ciclistas o motocicletas.
- Los aforos vehiculares se realizarán durante las horas pico de la mañana y la tarde de un día hábil entre semana.
- En el trabajo no se realizarán propuestas de mejora en las intersecciones.
- Se analizará con el SYNCHRO 8.
- Se utilizará la metodología HCM 2010.

1.9. Impacto

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser de gran ayuda para futuros diseños de intersecciones o tomar medidas para la corrección de las intersecciones más críticas con mayores tiempos de demora. Esto produciría gran aceptación en los usuarios de las rutas, ya que los tiempos de viaje de un punto A a un punto B se reducirían.

En el aspecto económico existirá un ahorro, debido a que no se tendrán que realizar cambios a corto plazo en las intersecciones nuevas ya que se diseñarán con números reales y, en cuanto a los vehículos, también existirá cierto ahorro, tanto de tiempo como de combustible.

Posteriormente y con estudios más profundos se puede utilizar la información en este trabajo para que factores de ajuste se consideren obligatorios en el diseño de vías en Costa Rica, esto por las instituciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Se disminuirá la contaminación sonora, debido a que se podrían reducir las colas y los tiempos de demora, así como el sonido las bocinas de los automóviles que se encuentran presentes siempre en las intersecciones conflictivas. Asimismo, se eliminará la contaminación del aire, ya que cuando un carro está detenido y hace la salida, existe un esfuerzo mayor del motor, lo que produce un gasto de combustible mayor y, por ende, mayor contaminación.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tipos de Control Vial

Cuando se crearon las primeras carreteras en el antiguo Imperio Romano, determinaron que, para mantener el orden, la eficiencia de estas rutas y la prevención de accidentes, se necesitaban leyes. Estas, en un principio, indicaban en qué lado de la carretera se conduce, algunas señales marcaban sitios importantes, además, se presentó la creación de multas para quienes incumplían estas leyes, etc.

A través del tiempo se han creado más reglas, debido al incremento de población y la evolución de los vehículos que son cada vez más veloces y, por ende, representan un mayor peligro.

Se introdujeron más leyes de tránsito, como límites de velocidad en carreteras, demarcación de la vía, así como los tipos de control vial, los cuales son las señales de alto y ceda en intersecciones, los semáforos, las rotondas y, por último, los carriles de cambio de velocidad para una entrada más eficiente a una autopista.

2.1.1. Intersecciones Controladas por Alto

Estas consisten en que un vehículo que desea entrar a un flujo primario, que se acerca del flujo secundario, tiene que detenerse por completo cuando llega a la intersección y esperar a que exista cierta distancia entre 2 vehículos del flujo primario para realizar la maniobra deseada, de manera segura. Como lo indican Rivera y Cárdenas (s. f.): “La intersección controlada por una señal de ALTO busca que un vehículo que se aproxime, se detenga antes de entrar a la intersección. Esta señal asigna a una dirección siempre la prioridad de cruce con independencia de cualquier factor” (p. 12).

2.1.2. Intersecciones Controladas por Semáforos

Las intersecciones controladas por semáforos consisten en uno o varios dispositivos con los colores verde, amarillo y rojo que significan, pase, precaución y

deténgase, estos son colocados en intersecciones con flujos vehiculares más críticos para asegurar el paso adecuado y seguro del usuario.

2.1.3. Intersecciones Controladas por Rotondas

Las rotondas se crearon aproximadamente en 1990 y son intersecciones generalmente redondas caracterizadas por una ceda en la entrada y de circulación alrededor de una *isla* central en sentido antihorario (HCM, 2010).

2.1.4. Intersecciones Controladas por Carril de Cambio de Velocidad

Este tipo de intersecciones se utilizan cuando el flujo primario tiene gran volumen y una velocidad de viaje alta, por lo tanto, se construye un carril que es exclusivo para el flujo secundario, para que los usuarios aceleren y lleguen a cierta velocidad a la que sea más sencillo ingresar al flujo primario.

2.2. Intervalos o Brechas

Los intervalos son lapsos entre dos vehículos, cuando desean realizar alguna maniobra deben verificar la distancia y el tiempo antes, ya sea en el flujo primario, cambiando de un carril a otro o girando hacia la izquierda o del flujo secundario girando hacia la izquierda, la derecha o seguir directo en la intersección. Estos intervalos se clasifican en dos tipos: el intervalo crítico y el intervalo de seguimiento.

2.2.1. Intervalos Críticos

El intervalo crítico se refiere a la cantidad de tiempo mínima entre dos conductores para que el usuario realice la maniobra deseada de manera segura y prevenir algún accidente, como lo define el manual de capacidad vial: “tiempo mínimo entre dos vehículos del flujo principal para atravesar este flujo” (HCM, 2010, pp. 19-7).

2.2.2. Intervalo de Seguimiento

El intervalo de seguimiento es una cantidad de tiempo menor al intervalo

crítico, este se refiere a la brecha de tiempo que existe entre un vehículo que se encuentra en la segunda posición del flujo secundario, al ocupar la primera posición en la intersección, como lo define el manual de capacidad vial: “tiempo mínimo entre dos vehículos del flujo secundario” (HCM, 2010, pp. 19-7).

2.3. Nivel de Servicio

Los niveles de servicio se crearon para clasificar una vía, según sus condiciones, en el caso de las intersecciones controladas por altos y cedas, los niveles se determinan, de acuerdo con los tiempos de demora en las intersecciones, en las autopistas los niveles varían de acuerdo con la velocidad promedio por vehículo. Estos niveles son de la letra *A* a la letra *F*, *A* es el caso ideal y la *F* la peor clasificación de la intersección.

En la tabla 1 se puede observar la clasificación, según la metodología HCM 2010 en las intersecciones controladas por alto.

Tabla 1. *Niveles de Servicio en Intersecciones Controladas por Alto*

Tiempo de demora (s/veh)	Nivel de servicio	
	$v/c < 1.0$	$v/c > 1.0$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Fuente: Tabla 19-1, HCM 2010.

La tabla 1 indica que puede existir diferentes niveles de servicio cuando el volumen vehicular o tasa de flujo sea menor a la capacidad de la intersección, en el caso contrario, el nivel de servicio siempre va a ser *F* (HCM, 2010, pp. 5-3).

2.3.1. Nivel de Servicio A

El nivel de servicio A representa la circulación de flujo libre en la vía o, en el caso de las intersecciones controladas por alto, tiempos de demora muy cortos. En la ilustración 1 se muestra un ejemplo de nivel de servicio A.

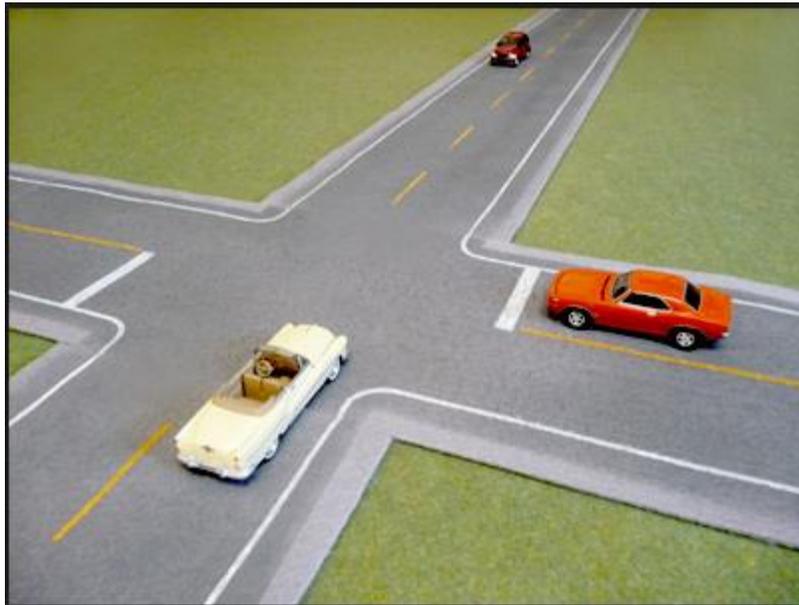


Ilustración 1.

Fuente: Law office of David Roth.

2.3.2. Nivel de Servicio B

Este nivel de servicio se presenta cuando el usuario puede circular libremente, sin embargo, debido a que existe más volumen vehicular, la elección de velocidad y maniobrar comienza a verse afectada, como se representa en el ejemplo de la ilustración 2.



Ilustración 2.

Fuente: Noiselab.

2.3.3. Nivel de Servicio C

El vehículo fluye de manera estable en la vía, sin embargo, existe mayor volumen vehicular que en el nivel de servicio *B*, por lo que la maniobrabilidad se ve afectada al interactuar con mayor cantidad de vehículos, como lo muestra el ejemplo en la ilustración 3.



Ilustración 3.

Fuente: Megapost.

2.3.4. Nivel de Servicio D

En este nivel de servicio existe un flujo de tránsito mayor, es un flujo estable, pero el usuario no tiene libre la velocidad y la maniobrabilidad se ve afectada por el alto volumen vehicular, como se puede observar en el ejemplo en la ilustración 4.



Ilustración 4.

Fuente: Boyd.

2.3.5. Nivel de Servicio E

Este nivel se encuentra cerca del límite de la capacidad, ya sea de la intersección o la vía, se generan colas y es posible maniobrar únicamente si se cede el paso.



Ilustración 5.

Fuente: Behance.

2.3.6. Nivel de Servicio F

Es cuando el volumen vehicular llega al máximo de la capacidad de la vía o intersección o la sobrepasa, maniobrar se vuelve complicado, la velocidad disminuye y se generan colas. Esto se puede observar en el ejemplo en la ilustración 6.



Ilustración 6.

Fuente: Topsimages.

2.4. Medición del Rendimiento del Sistema

Para medir la eficiencia de una intersección se deben tomar en cuenta no solo la demora de un usuario al hacer una maniobra específica cuando se analiza todo un conjunto de intersecciones, sino también la cantidad de personas que usan la ruta, así como la distancia que recorren.

Asimismo, se debe analizar la intensidad de la congestión que se puede medir con el promedio de demora por persona por viaje, la duración de la congestión, la extensión que tuvo el embotellamiento en cuanto a cantidad de vehículos, la variabilidad, la cual es ya sea la probabilidad de ocurrencia del embotellamiento a lo largo del tiempo y, por último, la accesibilidad, la cual determina la eficiencia de una ruta desde una perspectiva diferente a la intensidad de la congestión, se puede expresar en porcentajes de usuarios que completan su ruta en el tiempo estimado (HCM, 2010).

2.4.1. Cantidad del Servicio

La cantidad del servicio se refiere a la cantidad total de usuarios que utiliza el sistema de transporte, ya sea en rutas primarias, secundarias o terciarias, para movilizarse al lugar deseado, como lo menciona el manual de capacidad vial “la cantidad de servicio mide la utilización del sistema de transporte en términos de número de personas utilizando el sistema, la distancia que viajan y el tiempo que se tardan realizando el viaje” (HCM, 2010, pp. 2-8).

2.4.2. Intensidad del Congestionamiento

La intensidad del congestionamiento la cantidad de tiempo extra que un usuario se demora al realizar el viaje deseado, cuando se encuentra con un congestionamiento vial. Se puede medir como lo indica el manual de capacidad vial:

La intensidad de la congestión puede ser medida usando la cantidad de personas-horas de demora y el promedio de velocidad de viaje. Otras medidas son promedio de demora por persona por viaje. En los casos de ingeniería preliminar en las intersecciones la intensidad de congestionamiento es, en ocasiones, medida en término proporción del volumen-capacidad o proporción de demanda a capacidad (HCM, 2010, pp. 2-8).

2.4.3. Duración del Congestionamiento

En las vías de Costa Rica existe un mayor flujo de vehículos en las horas en las que empiezan los turnos de trabajo y en las horas en las que se terminan, a estas se les llama horas pico. Debido al gran volumen de vehículos, ciertas intersecciones se saturan y la demanda es mayor a su capacidad y se generan demoras y colas. La duración del congestionamiento es un parámetro que indica la duración máxima de una congestión en cualquier parte de un sistema vial, como se indica en el manual de capacidad vial:

La duración de una congestión puede medirse en términos del tiempo máximo que se tarda un embotellamiento en que sucede en cualquier parte del sistema vial. Un segmento de vía se congestiona si la demanda excede la capacidad vial del mismo (HCM, 2010, pp. 2-8).

2.4.4. Extensión del Congestionamiento

Cuando la saturación de un segmento de vía se vuelve muy conflictiva, las colas empiezan a extenderse de forma rápida, por lo que este parámetro mide la distancia que estas colas llegan a tener. Como indica el manual de capacidad vial “la extensión del congestionamiento puede expresarse en términos de distancia direccional de las vías congestionadas o también por el porcentaje máximo del congestionamiento en las vías en un determinado tiempo” (HCM, 2010, pp. 2-8).

2.4.5. Variabilidad

“Se refiere a la variación del congestionamiento diariamente se puede calcular en términos de probabilidad de ocurrencia o un intervalo confiable de diferentes aspectos de la congestión, ya sean intensidad, duración o extensión” (HCM, 2010, pp. 2-8).

2.4.6. Accesibilidad

La accesibilidad determina la efectividad del sistema vial en términos a los de la intensidad de la congestión para que sea un parámetro de otro punto de vista que, en ocasiones, es más sencillo para su entendimiento, como lo dice el manual de capacidad vial:

La accesibilidad examina la efectividad del sistema vial de una perspectiva diferente a la intensidad del congestionamiento. La accesibilidad puede expresarse en términos de porcentaje de viajes completadas por persona al destino que desearan en el tiempo estimado para el mismo viaje (HCM, 2010, pp. 2-8).

2.5. Modos de Viaje

Los modos de viaje de un usuario, son las diferentes formas en la que se puede transportar de un punto A a un punto B, las más comunes son, en automóvil, como peatón, bicicleta y, por último, el tránsito público.

2.5.1. Modo Automóvil

El modo automóvil incluye todo vehículo con motor que utilice las carreteras, con excepción de los del transporte público, de los cuales se tienen características diferentes, con el fin de analizar sus acciones en carretera para resultados más cercanos a la realidad, como lo indica el manual de capacidad vial:

El modo automóvil incluye todo vehículo automotor viajando en la carretera, a excepción de los vehículos de tránsito o vehículos de transporte público. Camiones, motocicletas, buses para *tours*, son considerados miembros del modo automóvil por el motivo de análisis del manual de capacidad vial. Ciertos vehículos tienen diferentes características operacionales, diferentes de los vehículos privados, estas características son tomadas por la metodología del manual de capacidad vial cuando sean necesarias (HCM, 2010, pp. 2-9).



Ilustración 7. Ejemplo de Modo Automóvil

Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Modo Peatón

El modo peatón se define como el modo en el que una persona, se mueve de un punto *A* a un punto *B*, al lado de la carretera, en una acera. El manual de capacidad vial lo define como “las personas al lado de una carretera o en la acera, realizando un viaje caminando. Los peatones caminan a diferentes velocidades, dependiendo su edad, su habilidad y las condiciones ambientales” (HCM, 2010, pp. 2-9).



Ilustración 8. Ejemplo de Modo Peatón

Fuente: Behance.

2.5.3. Modo Ciclista

Es el modo en el cual los usuarios realizan sus viajes en una bicicleta no motorizada, al lado de la carretera o en ciclovías.



Ilustración 9. Ejemplo de Modo Ciclista

Fuente: Pinterest.

2.5.4. Modo de Transporte Público

Las vías, en muchas ocasiones, no solo se utilizan con automóviles privados, sino que son compartidas con el transporte público, ya sean buses, busetas o con las vías del tren que atraviesan las carreteras. Estos transportes públicos movilizan a los usuarios a los destinos que desean o, en ocasiones, al menos cerca de ellos, a un costo bajo, debido al volumen de personas que viajan.



Ilustración 10. Ejemplo Transporte Público

Fuente: La Verdad Online.

2.6. Condiciones de Operación

2.6.1. Flujo Ininterrumpido

El flujo ininterrumpido se refiere a las vías en las cuales no existen ningún tipo de control vehicular, como señales de alto, semáforos o rotondas, por ejemplo, las autopistas y las rampas de entrada y salida son diseñadas para no interrumpir el flujo vehicular de ninguna manera, como lo indica el manual de capacidad vial: “el flujo ininterrumpido son las vías que no tienen ningún control que cause demora o algún tipo de interrupción externa al flujo de tránsito” (HCM, 2010, pp. 2-10).

Aunque exista congestionamiento en estas autopistas, debido al gran volumen vehicular, es un flujo ininterrumpido, debido a que las demoras las causa el flujo interno.

2.6.2. Flujo Interrumpido

Las vías con flujo interrumpido son las que, a lo largo de la vía, tienen

elementos de control vehicular que causan demoras o interrupciones del flujo vehicular, como las señales de tránsito, los semáforos, las rotondas, como se menciona en el manual de capacidad vial:

El flujo interrumpido tiene elementos en la vía que controlan el tránsito y estos causan demoras o interrupciones del flujo vehicular, como las señales de alto o los semáforos. Las carreteras urbanas son donde podemos encontrar la mayor cantidad de carreteras con este tipo de flujo interrumpido. El flujo vehicular no solo depende de las interacciones con los vehículos y las características geométricas del lugar, sino también dependen del tipo de control que se esté utilizando y la frecuencia de estos tipos de control a lo largo de una vía (HCM, 2010, pp. 2-10).

2.6.3. Flujo Insaturado

Sucede cuando en las intersecciones, o en la vía, la llegada de los vehículos es menor a la capacidad de la intersección y no se genera ninguna cola residual en una intersección o en la vía, por lo que, aunque sea un flujo interrumpido, fluye rápidamente, como lo menciona el manual de capacidad vial:

Se define como flujo insaturado cuando se cumplen las siguientes condiciones: (a) el flujo de llegada de vehículos es menor que la capacidad del segmento de la vía, (b) no se mantiene ninguna cola residual en una intersección a un flujo primario y (c) el flujo vehicular no es afectado por la entrada del flujo secundario (HCM, 2010, pp. 2-11).

2.6.4. Flujo Sobresaturado

Un flujo sobresaturado se define cuando la capacidad de una vía no soporta el volumen vehicular en ciertos periodos, por lo que se generan colas y demoras que afectan en el viaje de los usuarios, como lo indica el manual de capacidad vial:

Un flujo sobresaturado sucede cuando el flujo de llegada vehicular es mayor que la capacidad de la vía, se mantiene las colas formadas en la vía del flujo secundario, el flujo vehicular es afectado por esta entrada de flujo secundario (HCM, 2010, pp. 2-11).

2.7. Parámetros Básicos del Flujo Vehicular

- **Capacidad:** se refiere al flujo vehicular máximo que puede soportar una autopista, carretera o intersección, como lo indica el manual de capacidad vial:

la capacidad representa el máximo flujo vehicular por hora en el que personas o vehículos pueden ser razonablemente esperados que transiten en un determinado lugar, ya sea sección de autopista, carreteras secundarias o intersecciones, durante una cierta cantidad de tiempo tomando en cuenta las condiciones de la carretera, el ambiente, el tipo de tránsito (HCM, 2010, pp. 4-1).

La capacidad de una intersección puede variar por distintas razones, entre estas la cantidad de carriles que se encuentren (ya sea en el flujo primario o el flujo secundario), la medida del ancho de los carriles, si se encuentran paradas de bus en el camino, si la intersección es controlada, ya sea por señal de alto, semáforo, rotonda o, en el caso de que se conecte a autopista, con un carril de cambio de velocidad.

La capacidad potencial es la capacidad que se tiene en cada maniobra a realizar por el usuario, como lo define el manual de capacidad vial, la capacidad ideal para una maniobra en específico (HCM, 2010).

- **Volumen:** es la cantidad de automóviles que recorren determinado sitio a un determinado tiempo, esto varía según la zona donde se circule y del horario. En horas pico el volumen aumenta, debido a que las personas deben llegar a sus casas o llegar al trabajo, el manual de capacidad vial lo define como: “el número total de vehículos que pasan una determinada sección de carretera o intersección durante un tiempo definido, puede expresarse en valores de tránsito anual, diario, horario o periodos menores a una hora” (HCM, 2010, s. p.).
 - **TPA Transito anual:** cantidad de vehículos que recorren determinada zona en un periodo de un año.

- TM Tránsito mensual: cantidad de vehículos que recorren determinada zona en un periodo de un mes.
- TS Tránsito semanal: cantidad de vehículos que recorren determinada zona en un periodo de una semana.
- TD Tránsito diario: cantidad de vehículos que recorren determinada zona en un periodo de un día.
- TH Tránsito horario: cantidad de vehículos que recorren determinada zona en un periodo de una hora.

Valores de tránsito promedio diario.

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < T < 1 \text{ año}}$$

N es la cantidad de vehículos y T el tiempo en días.

- Tasa de flujo: se define como “la cantidad horaria equivalente en la que los vehículos pasan una determinada sección de carretera o intersección por un tiempo menor a 1 hora, usualmente 15 minutos” (HCM, 2010, pp. 4-2).
- Demanda: se refiere a la cantidad de vehículos que desean pasar por un determinado lugar, sea autopista o intersección, en un momento específico. Esta se relaciona directamente a los niveles de servicio en carreteras, ya que si la demanda es mayor que la capacidad del tramo de carretera o intersección, se generan colas y demoras que afectan los niveles de servicio.

2.8. Movimientos y Enumeración de Fases

Para tener un orden de cada maniobra que puede realizar el usuario, el manual de capacidad vial definió cada una de estas y las etiquetó con números, de esta manera, se tiene un orden el cual es el mismo en cualquier tipo de intersección controlada por alto o por semáforos.

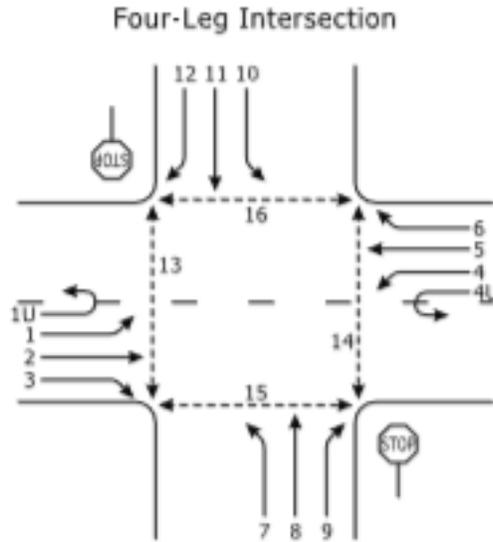


Ilustración 11. Maniobras en Intersección en Cruz

Fuente: HCM 2010, Ilustración 19-3.

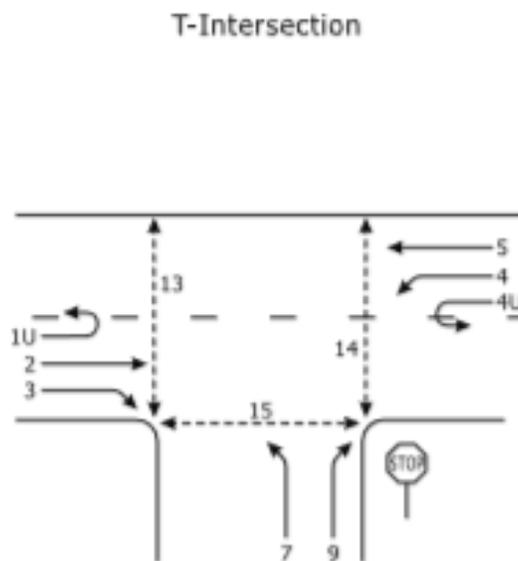


Ilustración 12. Maniobras en Intersección en T

Fuente: HCM 2010, Ilustración 19-3.

Es importante resaltar que estas maniobras siempre van a estar en dirección al norte y la maniobra 2 siempre va a ser de oeste a este, la maniobra 8 de sur a norte, por lo tanto, las maniobras no cambian, lo que cambia es la prioridad de paso.

2.9. Factores de la Problemática de Tránsito

El país sufre una problemática vial grave, debido a diferentes factores, que pueden ser los causantes de esta situación.

2.9.1. Diferentes Tipos de Vehículos Transitando en la Misma vía

Existen diferentes tipos de vehículos, según las necesidades de los usuarios y las posibilidades económicas. Están los de tipo personal, como automóviles, camionetas, furgonetas, motocicletas, entre otros, que son catalogados como tránsito liviano, además están los camiones, camiones pesados y vagonetas que se utilizan para el transporte de materiales, que se cataloga como carga pesada. Asimismo existe el transporte público, que es un vehículo que transporta a una cantidad masiva de personas, como los buses o busetas, además, existen los vehículos especiales que, en ocasiones, transitan sobre la carretera pública, como maquinaria, *back hoe*, tractores, entre otros.

Estos vehículos tienen diferentes velocidades, tiempos para acelerar en una intersección, radios de giro para realizar las maniobras, etc., lo que genera variaciones en el momento de conducir, tanto en intersecciones como en una autopista.

2.9.2. Falta de Planificación Vial

Esta falta de planificación es notable al transitar en la mayoría de ciudades de Costa Rica. En lugares importantes, como Alajuela, San José, Heredia, entre muchas otras, se puede observar que no se previó una ampliación en las carreteras principales, además, los comercios no cuentan con parqueos, por lo que los usuarios se ven obligados a parquear en la orilla de la carretera, obstruyen el paso vehicular, esto también dificulta que un vehículo largo realice un giro, debido a que no existe el espacio adecuado.

Las carreteras, en la mayoría de los casos, no tienen un ancho adecuado, lo que dificulta el paso en una vía de 2 carriles, asimismo, existe poca o nula planificación de las intersecciones en la ciudad, esto produce grandes demoras y las

soluciones son muy costosas, debido a que alrededor existen construcciones. En muchas carreteras principales del país no existen espaldones, por lo que en caso de que un vehículo se descomponga, se paralizará todo un carril, lo que afecta, de gran manera, el flujo vehicular.

Las municipalidades de estos cantones dan permisos de construcción sin un estudio de impacto vial apropiado y se construyen centros comerciales, condominios, epicentros que generan más volumen vehicular y que saturan las intersecciones alrededor, esto genera demoras para los usuarios.

Un claro ejemplo de esta mala planificación es la Uruca, debido a la gran cantidad de fábricas, existe un alto tránsito vehicular, en especial de vehículos de carga pesada, en comparación a otras zonas del país. Esto genera demoras y colas a lo largo del día, debido a la mala planificación, porque es una ruta muy transitada, ya que es el inicio de *circunvalación* y conecta diferentes ciudades de San José.

La Ruta Interamericana o Ruta 1 es una carretera que comienza en Alaska y recorre todos los países, con el fin de crear una vía que una las naciones desde Canadá hasta Panamá y, en la mayoría de estos países, esta ruta está en excelente estado debido al gran volumen vehicular que tiene, ya que es un canal de transporte entre fronteras.

El problema en Costa Rica es, por un lado, la poca visión que se tuvo al construir esta carretera, ya que en muchos casos se utiliza hasta para ir al supermercado como en el caso de Esparza, esto satura la vía y genera demoras. A pesar de que es una ruta importante para el país y que es muy transitada, no se hizo de 2 carriles para cada sentido en la mayor parte del territorio nacional, a pesar de la cantidad de vehículos de carga pesada que circula, lo que genera atrasos grandes debido a la velocidad de los vehículos de carga pesada. El poco mantenimiento que se le da es otro gran problema, se producen agujeros en las calles o puentes que hacen que los conductores disminuyan la velocidad y existan demoras.

2.9.3. Falta de Educación Vial por Parte de los Conductores y Peatones

Una gran parte del problema vial que se vive en Costa Rica en la actualidad,

es por la falta de educación vial, tanto por parte de los conductores como de los peatones, ya que, en muchas ocasiones, no se utilizan las vías o intersecciones como de acuerdo con su diseño o simplemente se irrespetan las señales de tránsito. Los conductores, en muchas ocasiones, hacen giros izquierdos o vueltas en U para ingresar a algún local comercial, en intersecciones controladas por semáforos.

CAPÍTULO 3. MARCO SITUACIONAL

Las intersecciones que se analizarán son las siguientes: Entre la ruta nacional 118 y la calle 4 (1), avenida 9 con calle 6 (2), avenida 7 con calle 2 y la ruta nacional 118 (3), avenida 3 con calle 6 (4), calle 1 con avenida central León Cortés Castro (5), en el cuadrante central de Grecia, los conteos vehiculares, las mediciones de longitudes de cola y tiempos de demora se realizaran en periodos 1 de hora para las mediciones preliminares y en periodos de 2 horas para las intersecciones ya definidas, en las horas pico de la mañana (6:30 a. m.-8:30 a. m.) y la tarde (4:30 p. m. a 6:30 p. m.).

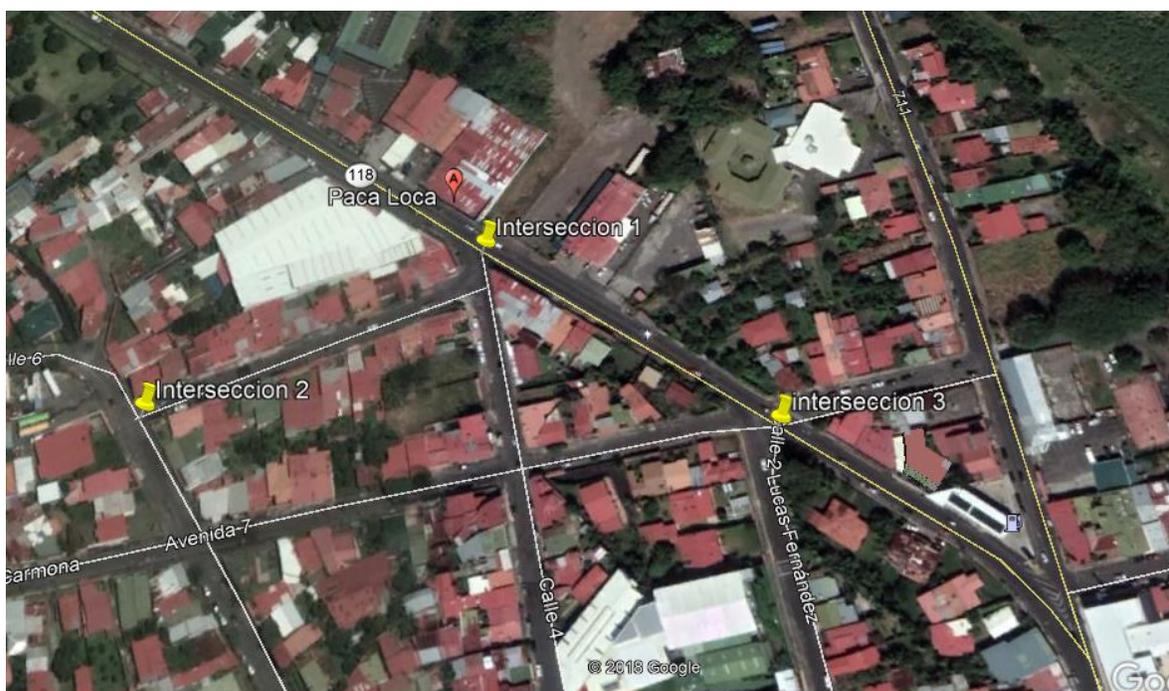


Ilustración 13. Ubicación de Intersecciones 1, 2, 3

Fuente: Google Earth.

CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Paradigma

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo, debido a que se recolectarán datos de aforos vehiculares, tiempos de demora y longitudes de cola para comprobar que la metodología usada actualmente es incorrecta y analizar los datos reales y teóricos obtenidos por la metodología HCM 2010. Sin embargo, este proyecto, a pesar de ser cuantitativo es no experimental, ya que no se manipulará ninguna variable, simplemente se observarán los fenómenos en su contexto natural, para después analizarlos y compararlos con los datos teóricos, lo cual coincide con el diseño transaccional del tipo correlaciones-causales.

4.2. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

4.2.1. Datos de Campo

Se determinan las 2 intersecciones más críticas en cuanto a tiempo de demora para realizar la maniobra deseada por el usuario y con las mayores longitudes de cola. Después de realizar mediciones preliminares en 5 intersecciones diferentes, se comprobó que no hay congruencia con los datos obtenidos de longitudes de cola y tiempos de demora en sitio, con los que se calculan en el *software* para el diseño de intersecciones en Costa Rica y la metodología HCM 2010. Por lo tanto, una vez analizados los datos obtenidos en campo y los de la metodología, se podrá verificar si existe alguna correlación para que se determine un factor de ajuste que brinde resultados más cercanos a la realidad de las intersecciones analizadas.

Para justificar las 2 intersecciones más críticas, se realizarán 5 mediciones preliminares de longitudes de cola, tiempos de demora y aforos vehiculares, en intersecciones diferentes en el cuadrante central de Grecia, estas mediciones preliminares a diferencia de las que se realizarán en las más críticas, serán en periodos de una hora, en las horas pico de la mañana (6:30 a. m. – 7:30 a. m.) y la tarde (4:30 p. m. a 5:30 p. m.), después se revisará cada intersección y se

seleccionarán las 2 que presenten condiciones más críticas en cuanto a tiempos de demora y longitudes de cola y se harán mediciones más extensas, en periodos de dos horas, en las horas pico de la mañana (6:30am-8:30 a. m.) y la tarde (4:30 p. m. – 6:30 p. m.).

4.3. Aforos Vehiculares

Los aforos vehiculares o conteos vehiculares, se realizarán en periodos de 15 minutos y se contará con la ayuda de un contador manual, cuando se necesite, para facilitar la labor humana y disminuir el margen de error. En cada intersección se contará cada maniobra posible, así como los automóviles y los vehículos pesados que incluyen, camiones de carga pesada, buses, vagonetas, grúas, cabezales, entre otros. No se toman en cuenta en los conteos las motocicletas, bicicletas ni peatones.



Ilustración 15.

Fuente: elaboración propia.

4.4. Mediciones de Longitud de Cola

Las mediciones de longitud de cola se realizarán en periodos de 5 minutos, en el que se observa, de manera aproximada, cuál es la extensión de la cola generada en la intersección, con la ayuda de una cinta métrica larga, de forma simultánea a los

aforos vehiculares. Para lograr las medidas de una forma, más rápida y eficiente, se colocaron marcas en la carretera a cada 5 metros, que a pesar de que no son medidas exactas, el margen de error puede ser hasta de 2 metros, lo cual es despreciable para este tipo de medidas.

Estas marcas se realizan con la siguiente cinta métrica y un *spray* fosforescente para facilitar la visibilidad.



Ilustración 16.

Fuente: elaboración propia.

4.5. Mediciones de Tiempo de Demora

Las mediciones de tiempo de demora, al igual que las mediciones de longitud de cola, se realizan en periodos de 5 minutos y estas se toman con un vehículo de referencia, puede ser a partir de la placa, tipo de automóvil, color, entre otras características y se miden desde el momento que el vehículo se aproxime a la cola generada en la intersección y, con un cronómetro, se medirá el tiempo que pasa desde que empieza a frenar para ingresar a la cola de la intersección hasta que se realiza la maniobra deseada.



Ilustración 17.

Fuente: elaboración propia.

4.6. Datos de Análisis de Capacidad, según la Metodología HCM 2010

El análisis de capacidad de una intersección busca, con las fórmulas en el manual de capacidad vial, determinar el nivel de servicio de una intersección. Las variables que se necesitan para realizar estas fórmulas que se explicarán más adelante, son la cantidad de vehículos por maniobra en cierto periodo y los intervalos críticos y de seguimiento que se utilizan en Costa Rica, según la dirección general del MOPT.

4.7. Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda

4.7.1. Volúmenes Opuestos

Como paso inicial se debe tener los datos de los volúmenes vehiculares por maniobra en hora pico, lo cuales son datos tomados de la intersección en un día normal. Después se determinan los volúmenes opuestos, según la maniobra que se vaya a realizar.

Como ejemplo se utilizará la intersección de la ruta nacional 118 con calle 4.



Ilustración 18. Intersección Ruta 118 con Calle 4

Fuente: Google Earth.

Se puede observar que es una intersección en Tee, con el alto en el lado sur, existen las maniobras 2, 3, 4, 5, 7, 9.

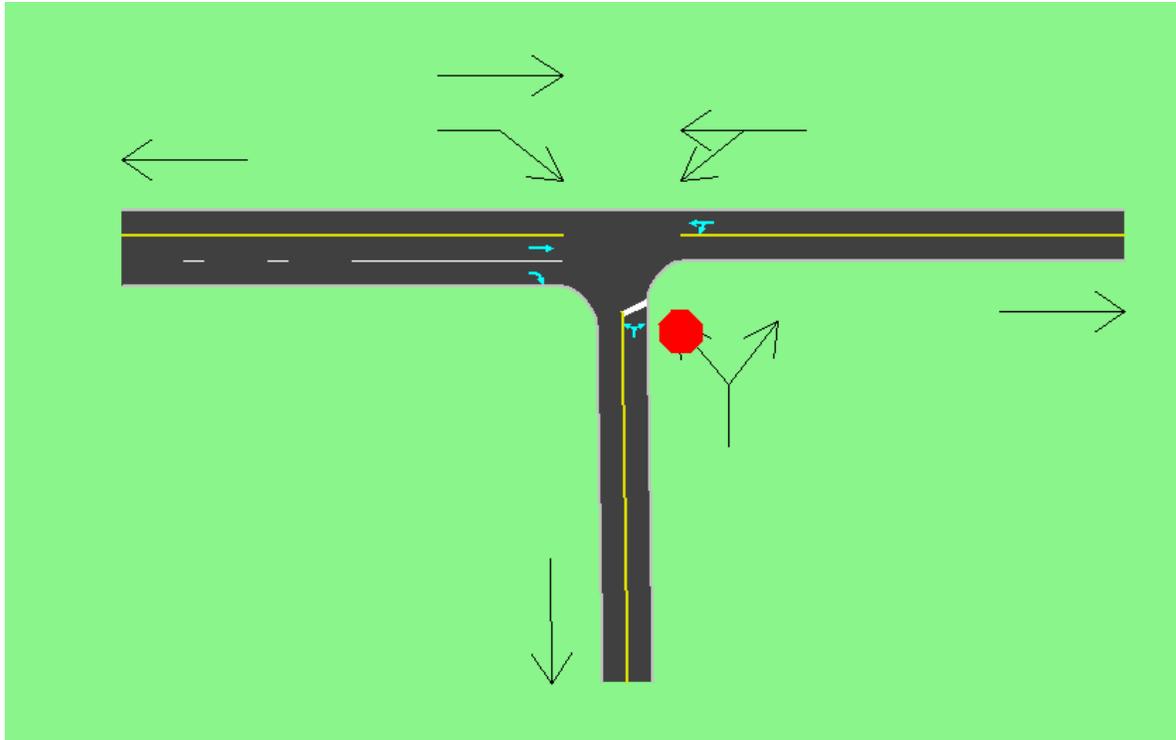


Ilustración 19. Ejemplo de Configuración de Intersección Ruta 118 con Calle 4 en Tee

Fuente: elaboración propia.

Para determinar los volúmenes opuestos para cada maniobra se utilizan las siguientes fórmulas.

Las maniobras 2, 3, 5, son de prioridad 1 por lo que no tienen volumen opuesto, las cuales son: directo, derecho primario y directo, respectivamente.

$$V_{c5} = 0, V_{c2} = 0, V_{c3} = 0$$

Las maniobras de prioridad 2 tienen como volumen opuesto las maniobras de prioridad 1, en este caso son izquierda primaria y derecho secundario, maniobras numeradas como 4 y 9.

$$V_{c4} = V_2 + V_3, V_{c9} = V_2 + V_3 * 0.5$$

Para la maniobra 9, el volumen opuesto sería el volumen de vehículos en 2, ya que afecta directamente la trayectoria y la mitad del volumen de la maniobra 3, a pesar de no afectar en la trayectoria, existe cierta incertidumbre para realizarla, ya que, en ciertas ocasiones, el conductor se confunde y cambia de maniobra a último

momento o no usa las direccionales, entre otros motivos. Esto se indica en el manual de capacidad vial (HCM 2010).

Por último, en volúmenes opuestos, las maniobras de prioridad 3, izquierda secundaria, se calculan con los volúmenes de las maniobras de prioridades 1 y 2.

$$V_{c7} = V_2 + V_3 * 0.5 + 2 * V_4 + V_5$$

Para el cálculo del volumen opuesto de la prioridad 3, al igual que en el volumen de prioridad 2, se toma a la mitad, debido a la incertidumbre que genera a los usuarios del flujo secundario y también se toma como 2 veces el volumen de la maniobra 4, debido a que, como es un giro izquierdo primario, puede detener el flujo de tránsito e incrementar el tiempo de espera.

4.8. Capacidad Potencial y Capacidad del Movimiento

En los movimientos de prioridad 1, la capacidad potencial, según el MOPT, es de 1700 veh/h y en teoría no debe tener demora ni longitudes de cola, según el manual de capacidad.

Para el cálculo de la capacidad potencial para movimientos de prioridad 2, 3 y 4 se utiliza la siguiente fórmula.

$$C_{p,x} = V_{c,x} * \frac{e^{-V_{c,x} * T_{c,x} / 3600}}{1 - e^{-V_{c,x} * T_{f,x} / 3600}} \text{ Ec. 19-35}$$

Siendo: $C_{p,x}$ = Capacidad potencial de la maniobra a realizar.

$V_{c,x}$ = Volumen opuesto de la maniobra a realizar.

$T_{c,x}$ = Intervalo crítico, según la maniobra que se desee realizar.

$T_{f,x}$ = Intervalo de seguimiento, según la maniobra que se desee realizar.

Cuando son movimientos de prioridad 1 o 2, la capacidad del movimiento es la misma que la capacidad potencial.

$$C_{p,x} = C_{m,x}, \text{ Ec. 19-36}$$

Cuando son movimientos de prioridad 3 se calcula un factor que indica la

probabilidad de no cola en el acceso primario en caso de que se haga la maniobra de giro a la izquierda primario. La cual es:

$$P_{o,j} = \frac{1 - \max\{V_j\}}{\{C_{m,j}\}} \text{ Ec. 19-42}$$

Después se determina un factor de ajuste para capacidad para movimientos de prioridad 3, multiplicando las probabilidades de no cola en los dos accesos primarios en un giro a la izquierda con la siguiente fórmula.

$$F_k = \Pi P_{o,j} \text{ Ec. 19-46}$$

Por lo que para calcular la capacidad del movimiento para prioridad 3 se utiliza la siguiente fórmula.

$$C_{m,k} = C_{p,k} * F_k \text{ Ec. 19-47}$$

Para determinar la capacidad de movimiento de una maniobra prioridad 4, los cálculos son un poco más extensos, primero hay que determinar la probabilidad de no cola en los movimientos de prioridad 3.

$$P_{o,k} = \frac{1 - \{V_k\}}{\{C_{m,k}\}} \text{ Ec. 19-42}$$

Después se determina un factor llamado factor de ajuste para movimiento directo secundario por el giro izquierdo desde la vía principal o p' .

$$p' = 0.65 * p'' - \frac{p''}{p''+3} + 0.6 * \sqrt{p''} \text{ Ec. 19-52}$$

Siendo p' = factor de ajuste para movimiento directo secundario y por el giro izquierdo desde la vía principal.

$$p'' = P_{o,j} * P_{o,k}$$

$P_{o,j}$ = Probabilidad de no cola en los movimientos de prioridad 2.

$P_{o,k}$ = Probabilidad de no cola en los movimientos de prioridad 3.

Seguidamente, se calcula el factor de ajuste de capacidad para movimientos de prioridad 4 en movimiento izquierdo secundario con la siguiente fórmula.

$$f_{p,l} = (p') * (P_{o,j})$$

Finalmente, la capacidad del movimiento para maniobras de prioridad 4 se calcula con la siguiente fórmula.

$$C_{m,l} = C_{p,l} * F_{pl}$$

En caso de que para realizar la maniobra de prioridad 4 en 2 etapas, lo cual se define como cruzar los 2 flujos primarios de tránsito se calcula un factor de ajuste a y una variable intermedia Y con las siguientes fórmulas.

$$a = 1 - 0.32 * e^{-1.3 * \sqrt{n_m}} \text{ cuando } n_m > 0 \text{ Ec. 19-55}$$

$$y = \frac{C_I - C_{m,x}}{C_{II} - V_L - C_{m,x}} \text{ Ec. 19-56}$$

Siendo:

N_m = Número de espacios disponibles para almacenar carros en el carril del acceso, en caso de que exista.

C_I = Capacidad de movimiento para la etapa 1 de la maniobra (veh/h).

C_{II} = Capacidad de movimiento para la etapa 2 de la maniobra (veh/h).

V_L = Flujo vehicular de la maniobra de girar a la izquierda en la vía primaria.

$C_{m,x}$ = Capacidad de movimiento, incluyendo el flujo vehicular para las 2 etapas.

En caso de que para diferentes maniobras solo exista un carril y los vehículos no puedan estar lado a lado, se utiliza la siguiente fórmula para calcular la capacidad de un carril compartido.

$$C_{sh} = \frac{\sum y V_y}{\sum y \left(\frac{V_y}{C_{m,y}} \right)} \text{ E.c 19-59}$$

Siendo.

C_{sh} = Capacidad del carril compartido (veh/h).

V_y = Flujo vehicular.

4.9. Cálculo de Tiempo de Demora por Maniobra

El tiempo de demora por maniobra en una intersección se calcula con la fórmula 19-64 del manual de capacidad, esta fórmula para calcular la demora en las maniobras de prioridad 2, 3, 4, asume que la demanda es menor a la capacidad, si el grado de saturación es mayor a 0.9, entonces la demora se verá afectada significativamente por el periodo de análisis.

$$d = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900T * \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}}\right) * \left(\frac{V_x}{C_{m,x}}\right)}{450T}} \right] + 5 \text{ Ec. 19-64}$$

Siendo:

D = Tiempo de demora por vehículo.

V_x = Flujo vehicular de la maniobra a analizar.

$C_{m, x}$ = Capacidad del movimiento de la maniobra a analizar.

T = Periodo de análisis (15 minutos equivalen a 0.25 horas).

Los 5 segundos se incluyen en la ecuación para tomar en cuenta la desaceleración de los vehículos que vienen del flujo libre a los que están en cola y también cuenta el tiempo de aceleración de los usuarios, desde que están en cola hasta que logren la velocidad de flujo libre.

La demora del acceso secundario global se calcula después, debido a que, como es un carril compartido, si un vehículo va a realizar una maniobra derecha secundaria, la cual se realiza más rápido que una izquierda secundaria, debe esperarse en la cola que se formó debido a la intersección. Esta se calcula con la siguiente fórmula.

$$d_{A,WB} = \frac{d_r * v_r + d_t * v_t + d_l * v_l}{v_r + v_t + v_l} \text{ Ec 19-65}$$

Siendo:

d= demora calculada previamente con la fórmula 19-64, por maniobra.

r = Derecha secundaria (*right*).

t= Directo secundario (*through*).

l= Izquierda secundaria (*left*).

v= Volumen vehicular de la maniobra.

4.10. Cálculo de Longitud de Cola con Percentil 95

La longitud de cola es una consideración importante en las intersecciones controladas por altos. Tanto estudios teóricos como empíricos, han demostrado que la probabilidad de distribución de longitudes de cola para cualquier movimiento del acceso secundario está en función de la capacidad del movimiento para la maniobra y el volumen vehicular para la maniobra.

Las longitudes de cola estimadas para las intersecciones citadas se calcularán con la metodología de la HCM 2010 (*Highway Capacity Manual*) y se usarán las siguientes fórmulas:

Para el cálculo del número de vehículos en cola se utiliza la ecuación 19-68 del manual HCM 2010:

$$Q_{95} \approx 900T \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right) \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) * \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{150T}} \right] * \left(\frac{C_{m,x}}{3600} \right) \text{ Ec. 19-68}$$

En el cual:

Q_{95} = Cola con percentil 95 (Veh).

V_x = Flujo vehicular (Veh/h).

$C_{m,x}$ = Capacidad de movimiento de la maniobra a realizar (Veh/H).

T = Periodo en el análisis (T = 0.25 por un periodo de 15 min).

4.11. Cálculo de la Demora Global de la Intersección

Para el cálculo de la demora global de una intersección se utiliza la ecuación 19-67 del manual HCM-2010:

$$d = \frac{d_{A,1} * V_{A,1} + d_{A,2} * V_{A,2} + d_{A,3} * V_{A,3} + d_{A,4} * V_{A,4}}{V_{A,1} + V_{A,2} + V_{A,3} + V_{A,4}} \text{ Ec. 19-67}$$

En el cual:

$d_{A,x}$ = Demora de maniobra "x" (s/veh).

$V_{a,x}$ = Flujo vehicular en la maniobra "x"(veh/h).

Tabla 2. *Guía para los Aforos Vehiculares*

Lapsos	Fecha			
15 min				
Tarde				
Hora	Maniobra	VP	Maniobra	VP

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. *Guía para Medir Longitudes de Cola*

Longitud de cola			
Lapsos	Fecha		
15 min			
Tarde			
Hora	Entrada		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. *Guía para Medir Tiempos de Demora*

Tiempos de demora		
Lapsos	Fecha	
15 min		

Tarde			
Hora	Entrada		

4.12. Técnicas e Instrumentos para el Análisis de Datos

Las intersecciones se modelarán con el *software* SYNCHRO 8, el cual utiliza la metodología de la HCM para obtener los datos teóricos de longitudes de cola y tiempos de demora, en el cual se ingresan los datos de flujo vehicular, tiempos críticos y de seguimiento, los factores de hora pico por maniobra y los porcentajes de vehículos pesados y, con todos estos datos, se pueden obtener datos teóricos que después se analizan manualmente y se verifica si existe alguna correlación para crear factores de ajuste que den valores más cercanos a la realidad.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para seleccionar las intersecciones se realizaron 5 conteos preliminares para determinar cuáles eran las que causaban mayores problemas en las horas pico y al final de estos conteos se determinaron 2, las más críticas, 1 y 3.

Tabla 5.

Resumen de intersecciones preliminares		
Intersección	Max tiempo de demora	Max longitud de cola
1	69	70
2	43	45
3	183	70
4	22	10
5	31	25

Fuente: elaboración propia.

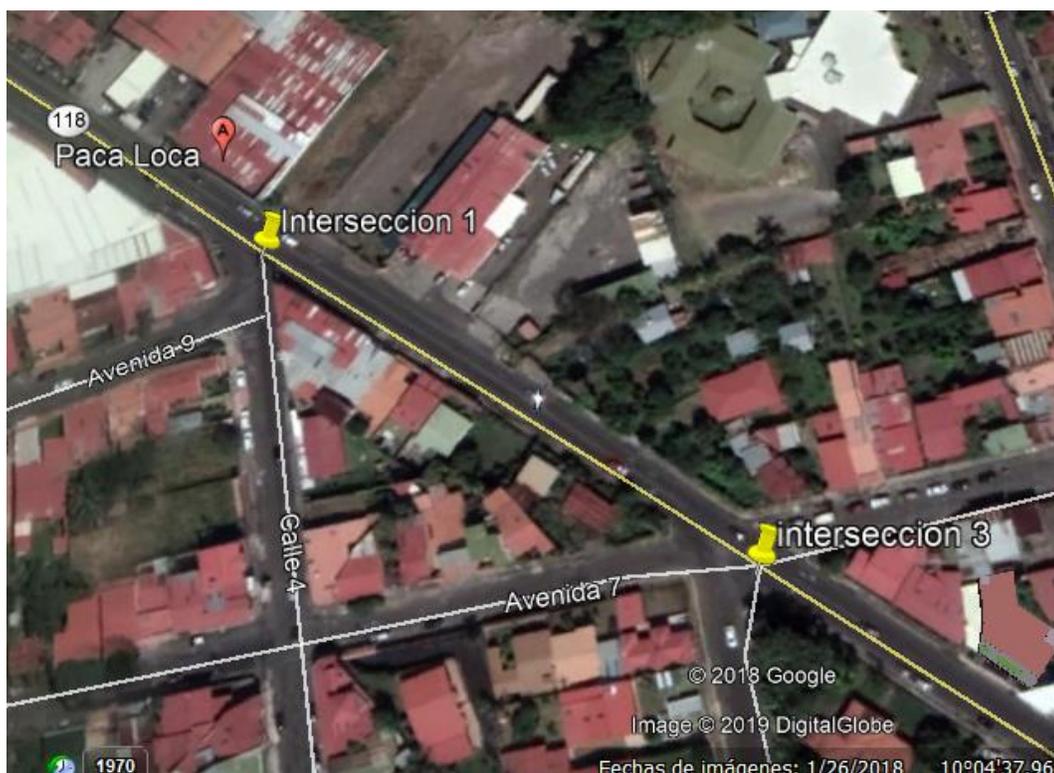


Ilustración 20.

Fuente: Google Earth.

5.1. Análisis de los Resultados de la Intersección 1

Se realizaron 6 conteos en total, 3 en las horas pico de la mañana y los otros 3 en las horas pico de la tarde. Se pudo observar que, tanto en la mañana como en la tarde, el volumen vehicular no varía, se asume que se debe a que Grecia es un cantón que no tiene gran número de fábricas o de atractivos que movilizan usuarios a transitar por la red vehicular en Grecia, por lo que los resultados obtenidos en las mediciones de campo varían alrededor de un máximo de 10 %.

5.2. Aforos Vehiculares

14-1-2019 en la tarde.

Tabla 6.

Resumen													
Intersección Ruta 118 con calle 4												Fecha	14-1-2019
Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	115	7	26	0	0	0	135	4	30	1	3	0
	4:45-5:00	119	5	25	5	2	0	140	7	28	2	5	0
	5:00-5:15	156	11	29	7	5	0	145	4	37	1	6	0
	5:15-5:30	123	3	28	0	3	0	137	5	29	2	10	0
	4:30-4:45	148	9	36	2	1	0	130	7	41	0	11	0
	4:45-5:00	162	5	39	0	4	0	147	4	39	1	9	0
	5:00-5:15	145	0	26	0	1	0	134	1	42	1	9	0
	5:15-5:30	107	3	23	1	2	0	132	3	39	2	11	0

Fuente: elaboración propia.

15-1-2019 en la mañana.

Tabla 7.

Resumen				
Intersección Ruta 118 con calle 4			Fecha	15-1-2019

	Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)
Tiempo (a. m.)	6:30-6:45	25	0	82	4	1	0	38	4	22	3	4	0
	6:45-7:00	26	1	85	7	0	0	46	6	26	3	6	0
	7:00-7:15	38	0	85	9	1	0	40	5	23	2	4	0
	7:15-7:30	28	3	98	11	1	0	45	5	21	4	4	0
	7:30-7:45	35	0	78	8	1	0	43	8	20	4	5	0
	7:45-8:00	22	2	79	8	3	0	75	15	26	2	6	0
	8:00-8:15	30	3	106	4	0	0	46	9	31	0	5	0
	8:15-8:30	16	2	64	4	1	0	43	4	22	2	7	0

Fuente: elaboración propia.

16-1-2019 en la mañana.

Tabla 8.

Resumen													
Intersección Ruta 118 con calle 4												Fecha	16-1-2019
	Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)
Tiempo (a. m.)	6:30-6:45	40	1	72	3	0	0	49	4	18	2	2	1
	6:45-7:00	43	2	78	8	0	0	56	5	16	4	4	2
	7:00-7:15	46	1	85	7	0	0	58	6	25	1	8	0
	7:15-7:30	39	0	80	8	0	0	45	8	20	3	4	1
	7:30-7:45	32	3	81	9	0	0	52	6	19	3	3	1
	7:45-8:00	23	1	85	5	1	0	58	10	13	2	4	3
	8:00-8:15	21	1	107	7	0	0	62	7	19	0	2	0

	8:15-8:30	30	0	70	7	3	0	54	7	19	1	7	1
--	-----------	----	---	----	---	---	---	----	---	----	---	---	---

Fuente: elaboración propia.

16-1-2019 en la tarde.

Tabla 9.

Resumen													
Intersección Ruta 118 con calle 4												Fecha	16-1-2019
Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	21	2	83	7	1	0	101	13	23	4	6	0
	4:45-5:00	33	2	127	8	2	0	126	8	33	1	5	0
	5:00-5:15	28	2	131	5	3	1	163	11	26	1	7	2
	5:15-5:30	46	0	146	6	3	0	170	5	20	2	4	0
	4:30-4:45	30	0	160	4	2	0	140	7	28	0	7	0
	4:45-5:00	56	2	190	9	1	0	124	5	27	1	7	0
	5:00-5:15	28	2	105	1	2	0	151	2	36	0	3	1
	5:15-5:30	19	0	67	1	1	0	102	3	21	1	6	0

Fuente: elaboración propia.

17-1-2019 en la tarde.

Tabla 10.

Resumen													
Intersección Ruta 118 con calle 4												Fecha	17-1-2019
Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	27	6	113	4	1	0	121	5	35	4	14	2
	4:45-5:00	25	4	150	10	4	0	111	6	41	1	0	0

5:00-5:15	39	3	150	5	2	0	141	6	32	1	5	0
5:15-5:30	25	2	129	5	0	0	176	10	29	0	2	0
4:30-4:45	37	2	145	7	3	1	151	9	32	0	4	1
4:45-5:00	35	2	127	9	2	1	125	8	40	0	4	0
5:00-5:15	34	0	118	2	3	0	125	1	33	0	2	0
5:15-5:30	21	3	112	3	0	0	143	5	32	2	0	0

Fuente: elaboración propia.

18-1-2019 en la mañana.

Tabla 11.

Resumen													
Intersección Ruta 118 con calle 4												Fecha	18-1-2019
Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)	
6:30-6:45	30	3	90	12	0	0	41	2	23	3	4	0	
6:45-7:00	35	2	80	8	0	0	43	6	23	2	7	0	
7:00-7:15	19	2	84	5	1	0	56	8	17	5	2	1	
7:15-7:30	24	1	60	7	2	0	48	4	11	0	1	2	
7:30-7:45	26	0	86	2	0	0	55	8	17	4	5	1	
7:45-8:00	20	0	87	8	3	0	67	4	25	1	6	0	
8:00-8:15	32	0	85	84	0	0	60	7	24	4	7	2	
8:15-8:30	28	2	83	5	2	0	53	2	20	3	5	0	

Fuente: elaboración propia.

5.3. Resultados Obtenidos del 14-1-2019 P. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, juntos con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica, las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, aparece una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

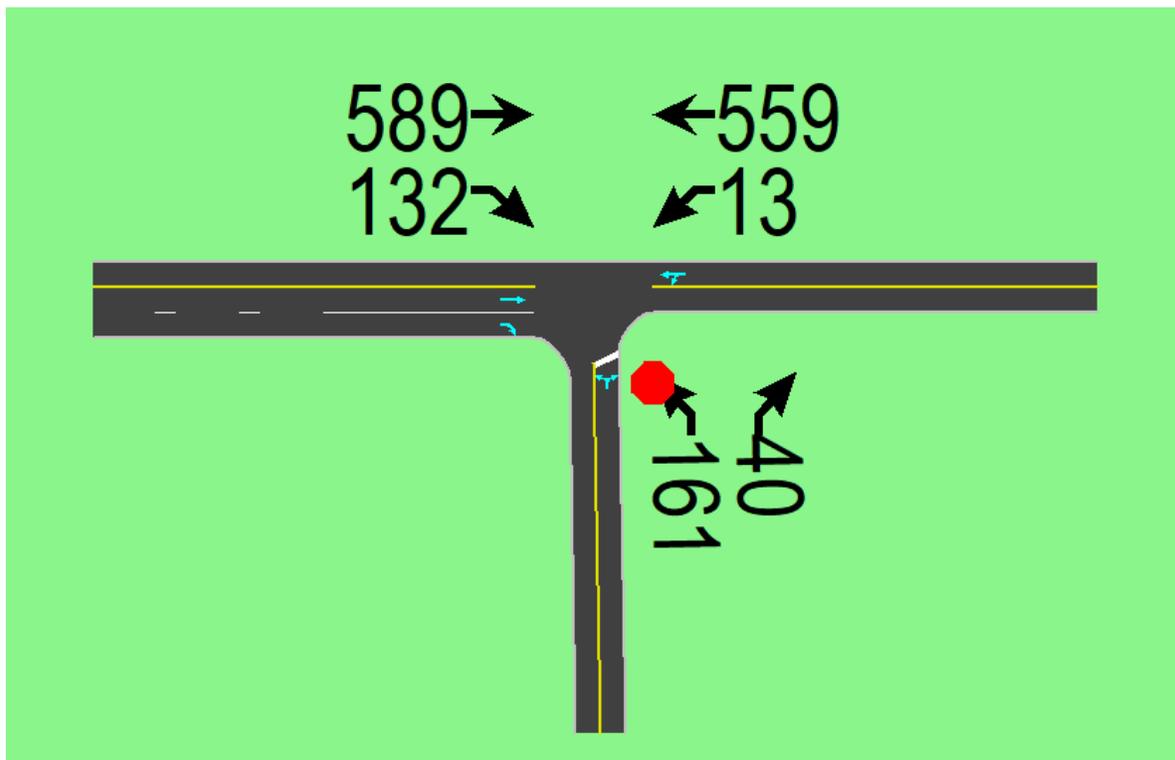


Ilustración 21.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS		SIGNING SETTINGS					
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	2	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		589	132	13	559	161	40
X East (m):	2723.2	Free	—	—	Free	Stop	—
Y North (m):	3401.3	0.0	—	—	0.0	3.6	—
Z Elevation (m):	0.0	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Description		—	None	—	None	—	None
Control Type	Unsig	—	—	4.1	—	5.5	4.5
Max v/c Ratio:	0.72	—	—	2.1	—	3.4	2.6
Intersection Delay (s):	5.8	0.38	0.09	0.02	0.02	0.72	0.72
Intersection LOS:	A	0.0	0.0	0.3	0.5	42.6	42.6
ICU:	0.58	A	A	A	A	E	E
ICU LOS:	B	0.0	0.0	0.5	0.5	41.0	41.0
		0.0	—	—	0.5	42.6	—
		—	—	—	—	E	—

Ilustración 22.

Fuente: Synchro 8.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 12.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vop	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
no existe	0,80	0	588	0	0	0	0,00	0
Directo	0,91	648	0	1700	1700	0	0,00	0
Der primario	0,85	156	0	1700	1700	0	0,00	0
izq primario	0,80	17	804	860	860	1655	7,20	0
Directo	0,95	588	0	1700	1700	1655	0,00	0
no existe	0,80	0	0	0	0	1655	0,00	0
izq secundario	0,96	168	1348	239	231	269	149,74	9
no existe	0,80	0	1348	0	0	269	0,00	0
der secundario	0,91	44	726	718	718	269	20,98	1
no existe	0,80	0	1370	0	0	0	0,00	0
no existe	0,80	0	1400,5	0	0	0	0,00	0
no existe	0,80	0	588	0	0	0	0,00	0

Fuente: elaboración propia.

5.4. Resultados Obtenidos del 15-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica, las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se observa una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

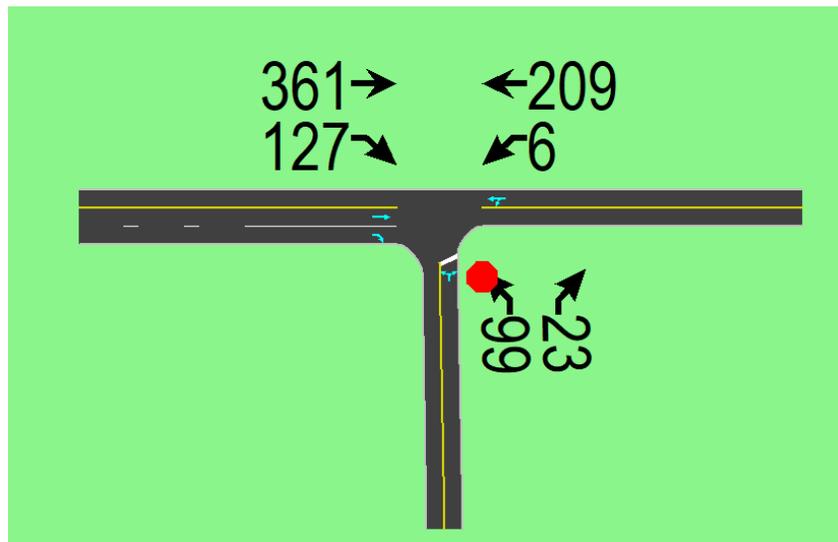


Ilustración 23.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS		SIGNING SETTINGS					
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	2	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		361	127	6	209	99	23
X East (m):	2723.2	Free	—	—	Free	Stop	—
Y North (m):	3401.3	0.0	—	—	0.0	3.6	—
Z Elevation (m):	0.0	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Description		—	None	—	None	—	None
Control Type	Unsig	—	—	4.1	—	5.5	4.5
Max v/c Ratio:	0.28	—	—	2.1	—	3.4	2.6
Intersection Delay (s):	2.2	0.25	0.09	0.01	0.01	0.28	0.28
Intersection LOS:	A	0.0	0.0	0.1	0.3	14.2	14.2
ICU:	0.33	A	A	A	A	B	B
ICU LOS:	A	0.0	0.0	0.2	0.2	9.2	9.2
		0.0	—	—	0.3	14.2	—
		—	—	—	—	B	—

Ilustración 24.

Fuente: Synchro 8.

En la siguiente imagen podemos observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, se usó como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 13.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
no existe	0,80	0	262	0	0	0	0,00	0,00
Directo	0,85	424	0	1700	1700	0	0,00	0,00
Der primario	0,84	152	0	1700	1700	0	0,00	0,00
izq primario	0,80	8	576	1048	1048	1670	7,17	0,01
Directo	0,80	262	0	1700	1700	1670	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	1670	0,00	0,00
izq secundario	0,80	124	778	456	451	496	21,75	1,64
no existe	0,80	0	778	0	0	496	0,00	0,00
der secundario	0,82	28	500	883	883	496	12,69	0,18
no existe	0,80	0	792	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	842	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	262	0	0	0	0,00	0,00

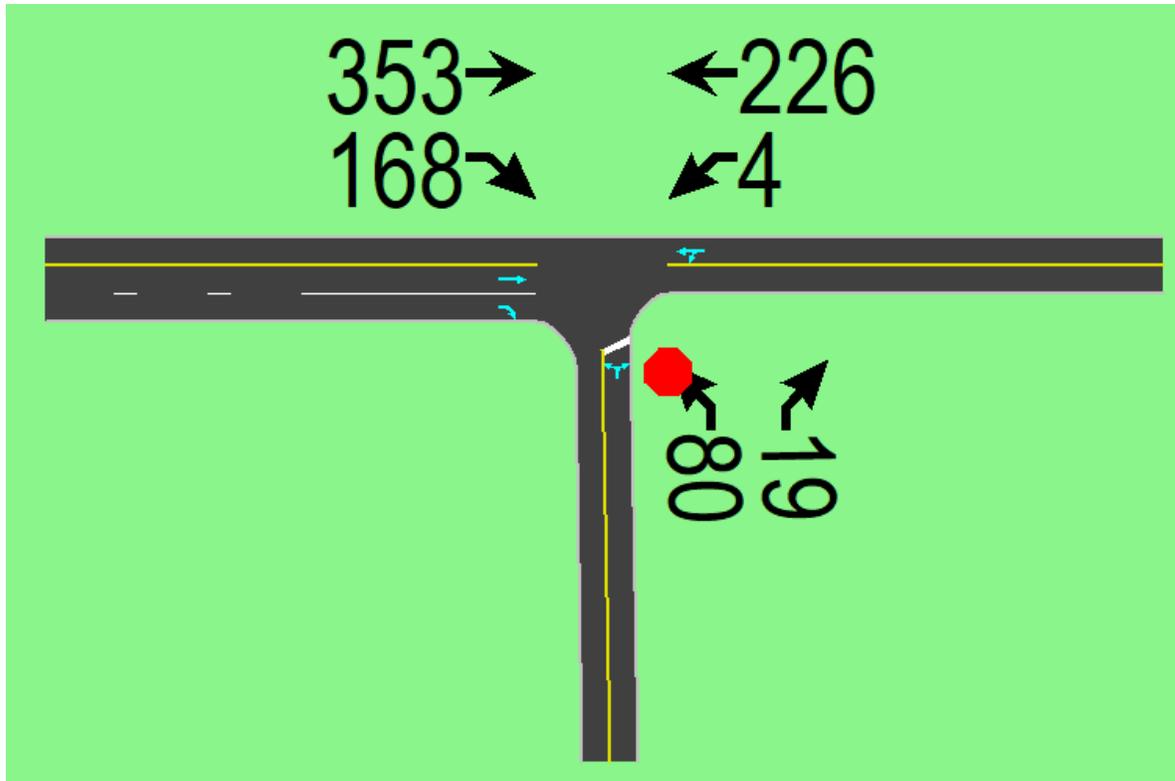
Fuente: elaboración propia.

5.5. Resultados Obtenidos del 16-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, observamos una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección, una vez desarrollado el programa.

Ilustración 25.



Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS		SIGNING SETTINGS					
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	2	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		353	168	4	226	80	19
X East (m):	2723.2	Free	—	—	Free	Stop	—
Y North (m):	3401.3	0.0	—	—	0.0	3.6	—
Z Elevation (m):	0.0	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Description		—	None	—	None	—	None
Control Type	Unsig	—	—	4.1	—	5.5	4.5
Max v/c Ratio:	0.25	—	—	2.1	—	3.4	2.6
Intersection Delay (s):	1.7	0.25	0.11	0.00	0.00	0.23	0.23
Intersection LOS:	A	0.0	0.0	0.0	0.2	13.4	13.4
ICU:	0.31	A	A	A	A	B	B
ICU LOS:	A	0.0	0.0	0.1	0.1	6.9	6.9
		0.0	—	—	0.2	13.4	—
		—	—	—	—	B	—

Ilustración 26.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 14.

Maniobra	FH P	VHM D	Volumen de diseño	Vop	Capacidad potencial	Capacida d	Carril compartido	Demo ra	Longitud de cola
no existe	0,8 0	0	0	248	0	0	0	0,00	0,00
Directo	0,8 2	353	428	0	1700	1700	0	0,00	0,00
Der primario	0,9 1	168	184	0	1700	1700	0	0,00	0,00
izq primario	0,8 0	4	5	612	1016	1016	1678	7,15	0,01
Directo	0,9 1	226	248	0	1700	1700	1678	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	1678	0,00	0,00
izq secundario	0,8 0	80	100	778	456	453	500	19,94	1,20
no existe	0,8 0	0	0	778	0	0	500	0,00	0,00
der secundario	0,8 0	19	24	520	868	868	500	12,56	0,15
no existe	0,8 0	0	0	790	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	862 ,5	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	248	0	0	0	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

5.6. Resultados Obtenidos del 16-1-2019 P. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se puede observar una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

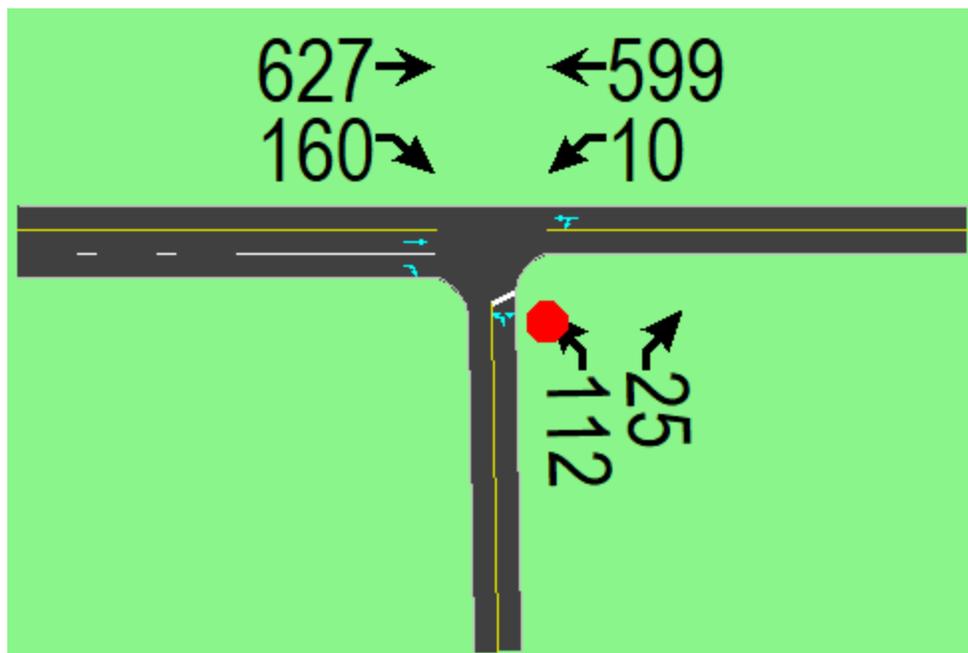


Ilustración 27.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS		SIGNING SETTINGS					
		→	↖	↙	←	↗	↘
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	2	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		627	160	10	599	112	25
X East (m):	2723.2	Free	—	—	Free	Stop	—
Y North (m):	3401.3	0.0	—	—	0.0	3.6	—
Z Elevation (m):	0.0	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Description		—	None	—	None	—	None
Control Type	Unsig	—	—	4.1	—	5.5	4.5
Max v/c Ratio:	0.73	—	—	2.1	—	3.4	2.6
Intersection Delay (s):	5.1	0.45	0.12	0.02	0.02	0.73	0.73
Intersection LOS:	A	0.0	0.0	0.3	0.4	53.2	53.2
ICU:	0.54	A	A	A	A	F	F
ICU LOS:	A	0.0	0.0	0.4	0.4	39.3	39.3
		0.0	—	—	0.4	53.2	—
		—	—	—	—	F	—

Ilustración 28.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 15.

I	FH P	VHM D	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacida d	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
no existe	0,8 0	0	0	680	0	0	0	0,00	0,00
Directo	0,8 3	627	760	0	1700	1700	0	0,00	0,00
Der primario	0,8 0	160	200	0	1700	1700	0	0,00	0,00
izq primario	0,8 3	10	12	960	751	751	1664	7,18	0,02
Directo	0,8 8	599	680	0	1700	1700	1664	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	1664	0,00	0,00
izq secundario	0,8 0	112	140	156 4	186	180	205	139,8 3	7,28
no existe	0,8 0	0	0	156 4	0	0	205	0,00	0,00
der secundario	0,8 9	25	28	860	635	635	205	25,32	0,46
no existe	0,8 0	0	0	157 8	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	164 6	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	680	0	0	0	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

5.7. Resultados Obtenidos del 17-1-2019 P. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, juntos con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se observa una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

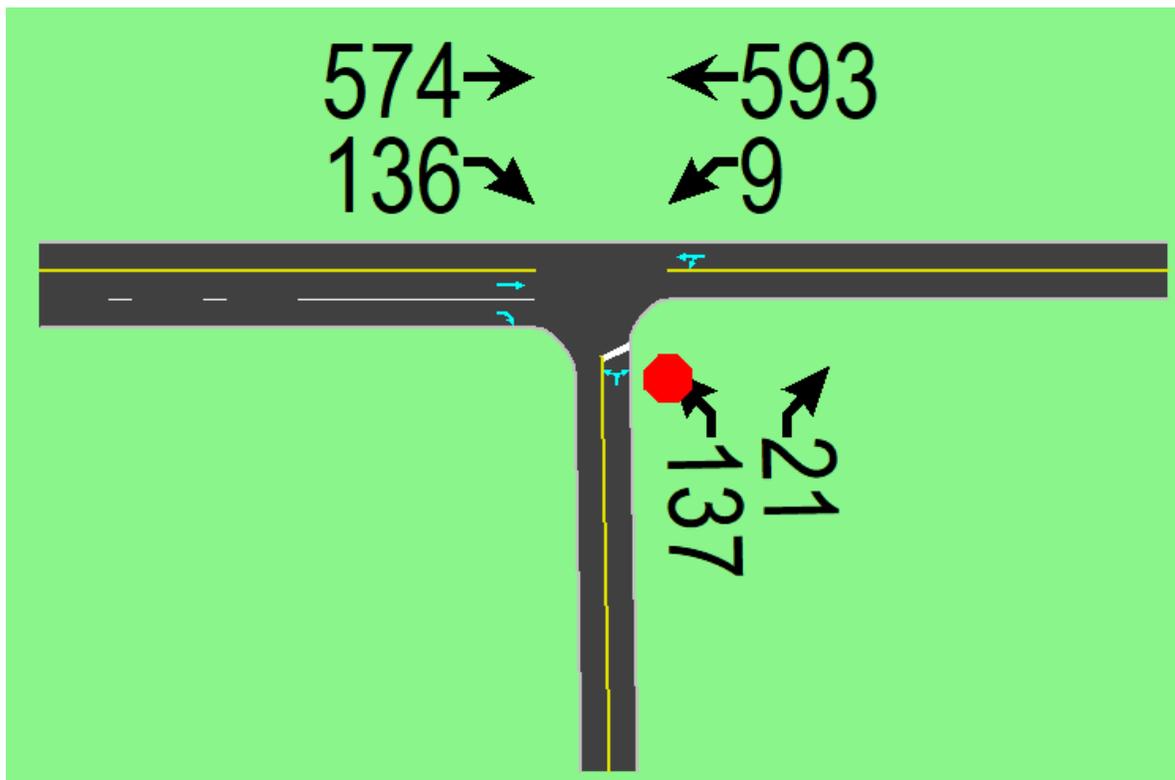


Ilustración 29.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS		SIGNING SETTINGS					
		→	↖	↙	←	↗	↘
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	2	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		574	136	9	593	137	21
X East (m):	2723.2	Free	—	—	Free	Stop	—
Y North (m):	3401.3	0.0	—	—	0.0	3.6	—
Z Elevation (m):	0.0	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Description		—	None	—	None	—	None
Control Type	Unsig	—	—	4.1	—	5.5	4.5
Max v/c Ratio:	0.72	—	—	2.1	—	3.4	2.6
Intersection Delay (s):	5.5	0.36	0.09	0.01	0.01	0.72	0.72
Intersection LOS:	A	0.0	0.0	0.2	0.3	47.1	47.1
ICU:	0.54	A	A	A	A	E	E
ICU LOS:	A	0.0	0.0	0.3	0.3	40.2	40.2
		0.0	—	—	0.3	47.1	—
		—	—	—	—	E	—

Ilustración 30.

Fuente: Synchro 8.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 16.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vop	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
no existe	0,80	0	704	0	0	0	0,00	0,00
Directo	0,96	600	0	1700	1700	0	0,00	0,00
Der primario	0,87	156	0	1700	1700	0	0,00	0,00
izq primario	0,80	12	756	897	897	1675	7,16	0,02
Directo	0,84	704	0	1700	1700	1675	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	1675	0,00	0,00
izq secundario	0,84	164	1406	224	219	244	122,37	7,72
no existe	0,80	0	1406	0	0	244	0,00	0,00
der secundario	0,80	27	678	751	751	244	21,58	0,37
no existe	0,80	0	1419,5	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	1466	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	704	0	0	0	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

5.8. Resultados Obtenidos del 18-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos tanto como de maniobras de prioridad 2, como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se observa una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

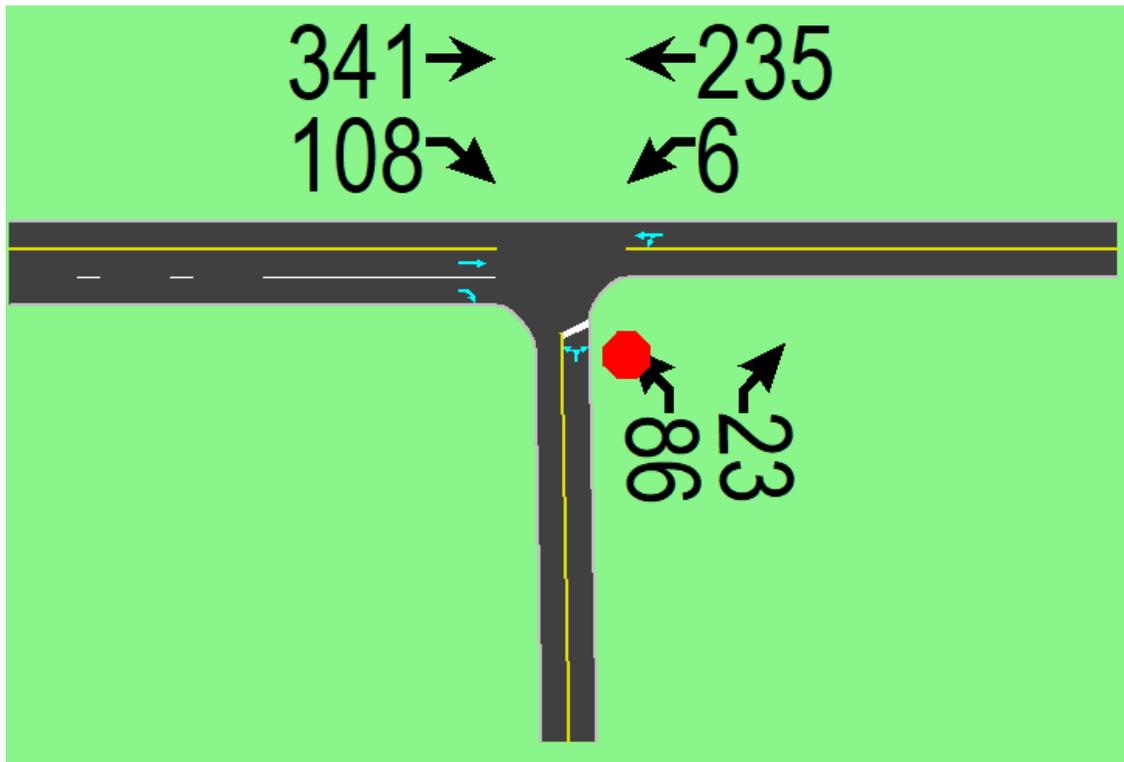


Ilustración 31.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS		SIGNING SETTINGS						
		→	↖	↙	←	↖	↙	
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR	
Node #	2	Lanes and Sharing (#RL)		↕		↕		
Zone:		Traffic Volume (vph)	341	108	6	235	86	23
X East (m):	2723.2	Sign Control	Free	—	—	Free	Stop	—
Y North (m):	3401.3	Median Width (m)	0.0	—	—	0.0	3.6	—
Z Elevation (m):	0.0	TwLTL Median	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Description		Right Turn Channelized	—	None	—	None	—	None
Control Type	Unsig	Critical Gap, tC (s)	—	—	4.1	—	5.5	4.5
Max v/c Ratio:	0.22	Follow Up Time, tF (s)	—	—	2.1	—	3.4	2.6
Intersection Delay (s):	1.9	Volume to Capacity Ratio	0.21	0.08	0.01	0.01	0.22	0.22
Intersection LOS:	A	Control Delay (s)	0.0	0.0	0.1	0.3	12.9	12.9
ICU:	0.31	Level of Service	A	A	A	A	B	B
ICU LOS:	A	Queue Length 95th (m)	0.0	0.0	0.2	0.2	6.6	6.6
		Approach Delay (s)	0.0	—	—	0.3	12.9	—
		Approach LOS	—	—	—	—	B	—

Ilustración 32.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 17.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vop	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
no existe	0,8 0	0	268	0	0	0	0,00	0,00
Directo	0,9 5	360	0	1700	1700	0	0,00	0,00
Der primario	0,8 0	135	0	1700	1700	0	0,00	0,00
izq primario	0,8 0	8	495	1124	1124	1676	7,16	0,01
Directo	0,8 8	268	0	1700	1700	1676	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	1676	0,00	0,00
izq secundario	0,8 6	100	711, 5	491	487	545	18,27	1,07
no existe	0,8 0	0	711, 5	0	0	545	0,00	0,00
der secundario	0,8 2	28	427, 5	944	944	545	11,96	0,16
no existe	0,8 0	0	725, 5	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	767	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	268	0	0	0	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

5.9. Análisis de los Resultados de la Intersección 2

Se realizaron 6 conteos en total, 3 en las horas pico de la mañana y los otros 3 en las horas pico de la tarde. Se pudo observar que, tanto en la mañana como en la tarde, el volumen vehicular no varía en gran manera, se asume que se debe a que Grecia es un cantón el cual no tiene gran número de fábricas o de atractivos que movilizan usuarios a transitar por la red vehicular en Grecia, por lo que los resultados obtenidos en las mediciones de campo varían alrededor de un máximo de 10 %.

5.10. Aforos Vehiculares

21-1-2019 en la mañana.

Tabla 18.

Resumen-															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
Tiempo (p. m.)	6:30-6:45	22	0	68	9	30	3	41	3	4	0	29	2	0	0
	6:45-7:00	25	0	86	4	20	0	45	8	1	0	33	2	5	0
	7:00-7:15	32	1	67	6	17	0	25	3	1	0	31	0	9	0
	7:15-7:30	19	0	47	7	18	0	35	6	0	0	24	0	2	0
	7:30-7:45	31	2	69	4	23	4	79	5	1	0	38	4	10	0
	7:45-8:00	30	3	77	6	13	1	32	9	5	2	32	1	8	1
	8:00-8:15	16	2	60	7	10	0	35	0	0	0	34	1	8	0
	8:15-8:30	22	1	56	4	16	2	26	1	3	0	29	2	10	1

Fuente: elaboración propia.

21-1-2019 en la tarde.

Tabla 19.

Resumen															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	37	1	81	10	23	0	93	8	2	0	21	1	14	1
	4:45-5:00	51	2	95	9	27	1	86	4	1	0	26	2	33	1

5:00-5:15	42	3	96	7	27	1	94	5	2	0	25	4	17	0
5:15-5:30	40	1	91	3	21	2	130	8	1	0	29	6	17	2
5:30-5:45	55	2	101	3	32	0	96	9	0	0	28	2	22	1
5:45-6:00	53	1	92	4	26	1	80	4	2	0	24	5	17	4
6:00-6:15	48	0	86	4	27	0	85	6	1	0	25	4	25	3
6:15-6:30	52	2	91	4	29	1	83	5	2	0	22	4	19	5

Fuente: elaboración propia.

22-1-2019 en la mañana.

Tabla 20.

Resumen															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
6:30-6:45	28	0	78	9	36	2	49	3	2	0	27	2	2	0	
6:45-7:00	29	0	92	6	25	0	56	6	1	0	36	4	6	0	
7:00-7:15	39	2	78	6	26	0	35	2	0	0	36	3	8	1	
7:15-7:30	26	2	74	8	21	3	34	8	0	0	31	2	4	0	
7:30-7:45	36	4	83	10	28	0	66	5	4	1	29	2	12	1	
7:45-8:00	34	3	88	9	17	0	40	7	0	0	45	4	15	1	
8:00-8:15	29	2	82	6	14	0	36	4	3	0	41	3	10	0	
8:15-8:30	28	3	64	3	18	1	27	2	1	0	32	4	8	0	

Fuente: elaboración propia.

22-1-2019 en la tarde.

Tabla 21.

Resumen															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	41	3	98	8	19	0	104	9	3	0	27	2	20	3
	4:45-5:00	61	5	95	7	29	0	98	7	1	0	32	3	41	3
	5:00-5:15	56	3	109	6	32	3	93	6	3	0	31	6	28	2
	5:15-5:30	49	4	106	7	27	2	126	12	4	0	34	4	22	4
	5:30-5:45	59	2	110	5	39	1	109	12	0	0	29	3	24	2
	5:45-6:00	49	3	98	3	36	2	91	6	0	0	31	6	21	4
	6:00-6:15	58	3	91	6	29	0	94	8	4	1	26	4	27	3
6:15-6:30	63	5	92	7	31	3	80	7	1	0	22	2	24	3	

Fuente: elaboración propia.

23-1-2019 en la mañana.

Tabla 22.

Resumen															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
Tiempo (p. m.)	6:30-6:45	24	0	72	7	38	3	51	2	3	0	31	3	3	0
	6:45-7:00	22	0	89	8	26	0	54	7	2	0	27	1	6	0
	7:00-7:15	36	0	74	9	23	1	34	4	2	0	34	4	8	2
	7:15-7:30	25	2	72	9	17	0	38	9	0	0	29	2	5	0
	7:30-7:45	38	5	78	6	24	3	69	5	0	0	39	2	5	0
	7:45-8:00	33	2	84	12	16	0	37	6	3	1	41	6	11	2

8:00-8:15	24	0	76	7	18	0	33	6	4	0	38	34	9	1
8:15-8:30	21	3	66	8	21	0	26	4	2	0	33	3	8	2

Fuente: elaboración propia.

23-1-2019 en la tarde.

Tabla 23.

Resumen															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
4:30-4:45	43	2	95	12	26	0	99	6	2	0	30	3	21	2	
4:45-5:00	54	3	106	11	31	1	88	3	2	0	33	3	46	2	
5:00-5:15	49	3	101	8	38	2	96	7	1	0	33	5	36	3	
5:15-5:30	42	2	94	6	29	2	115	12	1	0	38	4	29	2	
5:30-5:45	64	3	115	4	45	2	119	14	3	1	31	2	27	1	
5:45-6:00	51	1	104	3	33	1	93	8	1	0	34	2	22	3	
6:00-6:15	49	2	94	6	36	2	86	7	2	0	27	2	25	1	
6:15-6:30	59	3	98	8	29	2	78	7	0	0	30	2	21	2	

Fuente: elaboración propia.

5.11. Resultados Obtenidos del 21-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, juntos con los intervalos críticos y de seguimiento que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se puede observar una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

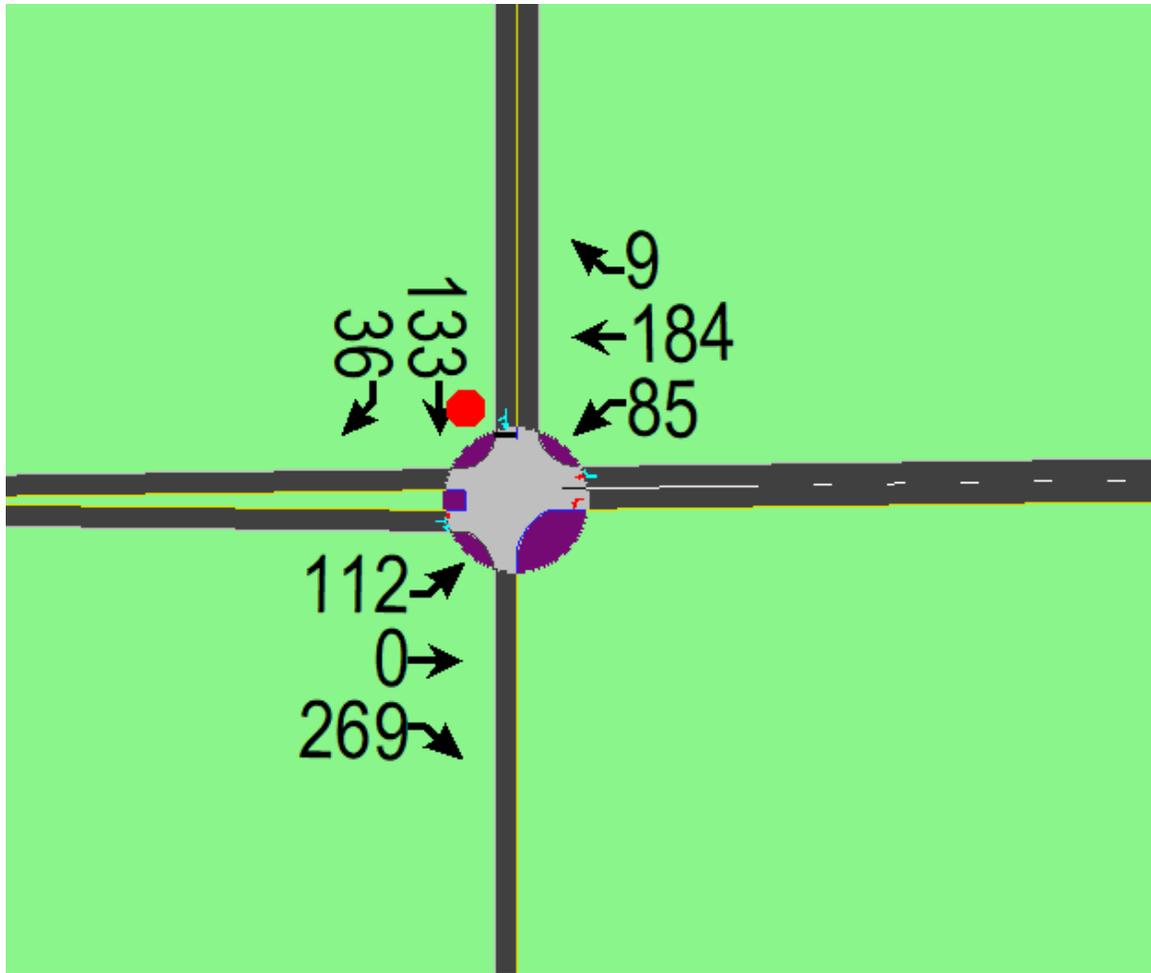


Ilustración 33.

Fuente: elaboración propia.

SIGNING SETTINGS	<input type="checkbox"/> EBL <input type="checkbox"/> EBT <input type="checkbox"/> EBR			<input type="checkbox"/> WBL <input type="checkbox"/> WBT <input type="checkbox"/> WBR			<input type="checkbox"/> NBL <input type="checkbox"/> NBT <input type="checkbox"/> NBR			<input type="checkbox"/> SBL <input type="checkbox"/> SBT <input type="checkbox"/> SBR		
	Lanes and Sharing (#RL)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traffic Volume (vph)	112	0	269	85	184	9	0	0	0	0	133	36
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Median Width (m)	—	3.6	—	—	3.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWLT Median	—	<input type="checkbox"/>	—									
Right Turn Channelized	—	—	None									
Critical Gap, tC (s)	4.1	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.09	—	0.09	0.08	0.14	0.14	—	—	—	—	0.51	0.51
Control Delay (s)	0.9	—	2.8	8.0	0.0	0.0	—	—	—	—	24.0	24.0
Level of Service	A	—	A	A	A	A	—	—	—	—	C	C
Queue Length 95th (m)	2.4	—	2.4	2.2	0.0	0.0	—	—	—	—	22.1	22.1
Approach Delay (s)	—	2.8	—	—	2.5	—	—	0.0	—	—	24.0	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	C	—

Ilustración 34.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 24.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
izq primario	0,88	128	242	1396	1396	1604	7,44	0,26
no existe	0,80	0	0	0	0	1604	0,00	0,00
Der primario	0,80	337	0	1700	1700	1604	0,00	0,00
izq primario	0,80	107	337	1287	1287	872	9,71	0,42
Directo	0,80	230	0	1700	1700	872	0,00	0,00
Der primario	0,80	12	0	1700	1700	872	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
dir secundario	0,88	152	1043	383	303	336	59,81	4,89
der secundario	0,90	40	236	1122	1122	336	17,16	0,40

Fuente: elaboración propia.

5.12. Resultados Obtenidos del 21-1-2019 P. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, juntos con los intervalos críticos y de seguimiento que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se observa una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

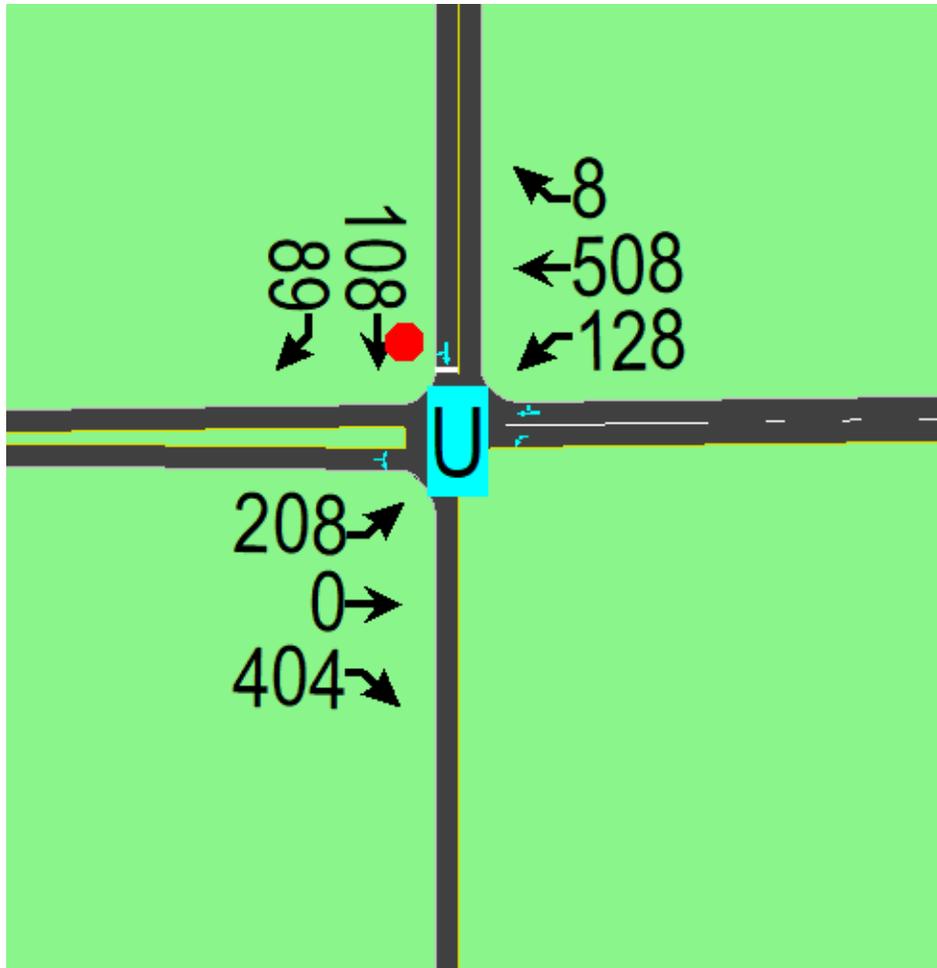


Ilustración 35.

Fuente: elaboración propia.

SIGNING SETTINGS	→			←			↖			↘		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	208	0	404	128	508	8	0	0	0	0	108	89
Traffic Volume (vph)	208	0	404	128	508	8	0	0	0	0	108	89
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Median Width (m)	—	3.6	—	—	3.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWLT Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	4.1	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.22	—	0.22	0.12	0.38	0.38	—	—	—	—	1.14	1.14
Control Delay (s)	2.9	—	5.2	8.5	0.0	0.0	—	—	—	—	158.5	158.5
Level of Service	A	—	A	A	A	A	—	—	—	—	F	F
Queue Length 95th (m)	6.8	—	6.8	3.3	0.0	0.0	—	—	—	—	86.0	86.0
Approach Delay (s)	—	5.2	—	—	1.5	—	—	0.0	—	—	158.5	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	F	—

Ilustración 36.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS	
Node #	3
Zone:	
X East (m):	2869.5
Y North (m):	3408.7
Z Elevation (m):	0.0
Description	
Control Type	Unsig
Max v/c Ratio:	1.14
Intersection Delay (s):	23.4
Intersection LOS:	C
ICU:	0.85
ICU LOS:	E

Ilustración 37.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 25.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
izq primario	0,95	220	516	1104	1104	1429	7,98	0,54
no existe	0,80	0	0	0	0	1429	0,00	0,00
Der primario	0,95	404	0	1700	1700	1429	0,00	0,00
izq primario	0,89	128	404	1215	1215	857	9,94	0,52
Directo	0,80	508	0	1700	1700	857	0,00	0,00
Der primario	0,80	8	0	1700	1700	857	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
dir secundario	0,93	116	1612	207	110	174	398,30	9,66
der secundario	0,80	112	512	874	874	174	56,96	3,68

Fuente: elaboración propia.

5.13. Resultados Obtenidos del 22-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se puede observar una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

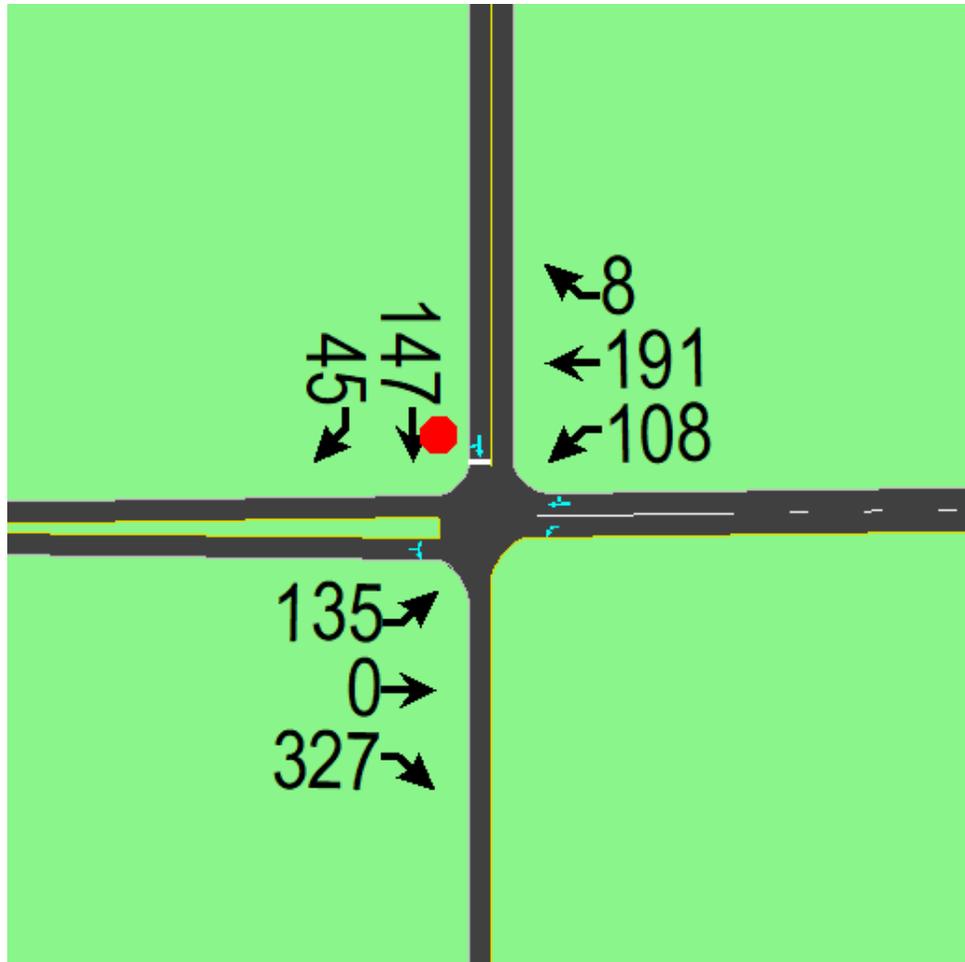


Ilustración 38.

Fuente: elaboración propia.

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
Traffic Volume (vph)	135	0	327	108	191	8	0	0	0	0	147	45
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Median Width (m)	—	3.6	—	—	3.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWLT Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tc (s)	4.1	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tf (s)	2.1	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.11	—	0.11	0.11	0.15	0.15	—	—	—	—	0.76	0.76
Control Delay (s)	1.1	—	3.2	8.3	0.0	0.0	—	—	—	—	45.3	45.3
Level of Service	A	—	A	A	A	A	—	—	—	—	E	E
Queue Length 95th (m)	3.1	—	3.1	2.9	0.0	0.0	—	—	—	—	46.8	46.8
Approach Delay (s)	—	3.2	—	—	2.9	—	—	0.0	—	—	45.3	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	E	—

Ilustración 39.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS	
Node #	3
Zone:	
X East (m):	2869.5
Y North (m):	3408.7
Z Elevation (m):	0.0
Description	
Control Type	Unsig
Max v/c Ratio:	0.76
Intersection Delay (s):	11.8
Intersection LOS:	B
ICU:	0.59
ICU LOS:	B

Ilustración 40.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 26.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
izq primario	0,87	156	249	1388	1388	1594	7,50	0,32
no existe	0,80	0	0	0	0	1594	0,00	0,00
Der primario	0,89	368	0	1700	1700	1594	0,00	0,00
izq primario	0,80	135	368	1253	1253	868	9,91	0,55
Directo	0,80	239	0	1700	1700	868	0,00	0,00
Der primario	0,80	10	0	1700	1700	868	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,80	0	0	0	0	0	0,00	0,00
dir secundario	0,82	180	1194	326	243	282	152,16	9,19
der secundario	0,80	57	244	1114	1114	282	20,97	0,74

Fuente: elaboración propia.

5.14. Resultados Obtenidos del 22-1-2019 P. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, juntos con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se puede una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

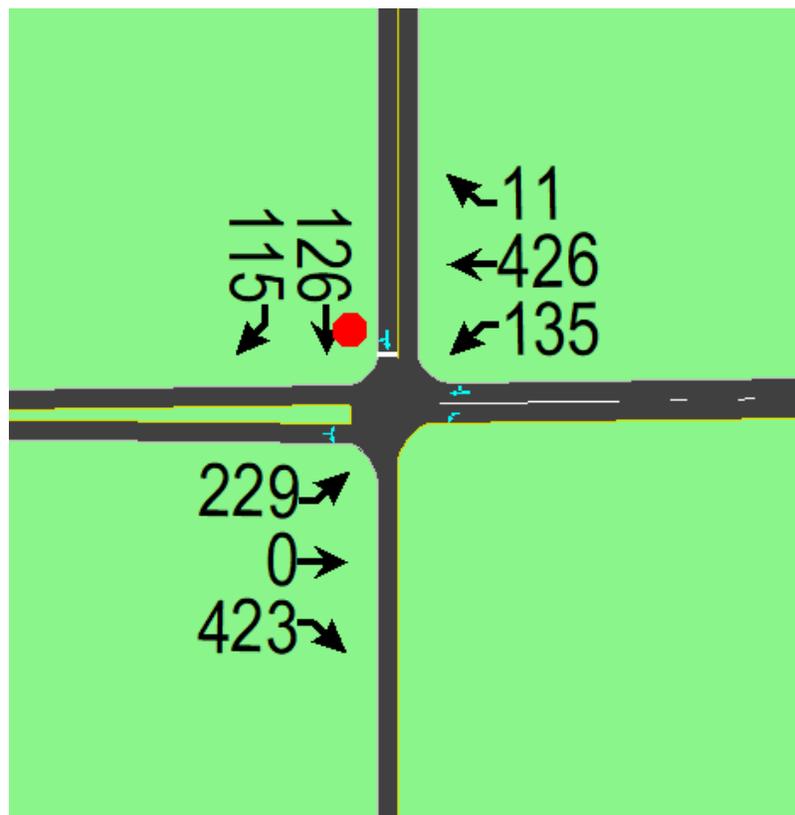


Ilustración 41.

Fuente: elaboración propia.

SIGNING SETTINGS	EBL			WBL			NBL			SBL		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	[Dropdown] [Icons]			[Icons]			[Icons]			[Icons]		
Traffic Volume (vph)	229	0	423	135	426	11	0	0	0	0	126	115
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Median Width (m)	—	3.6	—	—	3.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWLT Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	4.1	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.0	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.23	—	0.23	0.13	0.31	0.31	—	—	—	—	1.25	1.25
Control Delay (s)	2.9	—	5.2	8.5	0.0	0.0	—	—	—	—	187.9	187.9
Level of Service	A	—	A	A	A	A	—	—	—	—	F	F
Queue Length 95th (m)	7.2	—	7.2	3.7	0.0	0.0	—	—	—	—	114.9	114.9
Approach Delay (s)	—	5.2	—	—	2.0	—	—	0.0	—	—	187.9	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	F	—

Ilustración 42.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS	
Node #	3
Zone:	
X East (m):	2869.5
Y North (m):	3408.7
Z Elevation (m):	0.0
Description	
Control Type	Unsig
Max v/c Ratio:	1.25
Intersection Delay (s):	34.9
Intersection LOS:	D
ICU:	0.85
ICU LOS:	E

Ilustración 43.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 27. Fuente: elaboración propia.

Maniobra	FH P	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
izq primario	0,9 1	252	518	1102	1102	1420	8,08	0,64
no existe	0,8 0	0	0	0	0	1420	0,00	0,00
Der primario	0,9 6	440	0	1700	1700	1420	0,00	0,00
izq primario	0,8 7	156	440	1178	1178	862	10,10	0,66
Directo	0,8 5	504	0	1700	1700	862	0,00	0,00
Der primario	0,8 0	14	0	1700	1700	862	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
dir secundario	0,9 3	136	176 7	174	81	140	827,40	13,81
der secundario	0,8 0	144	511	875	875	140	146,43	7,60

Fuente: elaboración propia.

5.15. Resultados Obtenidos del 23-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se puede observar una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

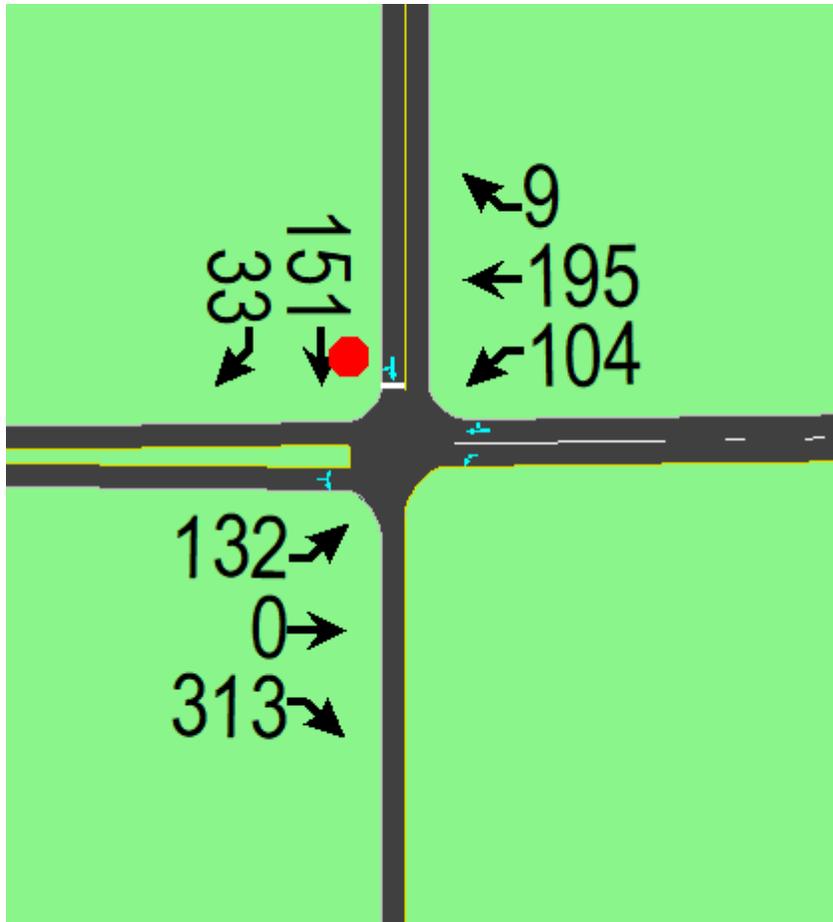


Ilustración 44.

Fuente: elaboración propia.

SIGNING SETTINGS	←			←			←			←		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↔			↔			↔			↔		
Traffic Volume (vph)	132	0	313	104	195	9	0	0	0	0	151	33
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Median Width (m)	—	3.6	—	—	3.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWLT Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	4.1	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.11	—	0.11	0.10	0.15	0.15	—	—	—	—	0.66	0.66
Control Delay (s)	1.1	—	3.2	8.2	0.0	0.0	—	—	—	—	36.2	36.2
Level of Service	A	—	A	A	A	A	—	—	—	—	E	E
Queue Length 95th (m)	3.0	—	3.0	2.8	0.0	0.0	—	—	—	—	34.8	34.8
Approach Delay (s)	—	3.2	—	—	2.8	—	—	0.0	—	—	36.2	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	E	—

Ilustración 45.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS	
Node #	3
Zone:	
X East (m):	2869.5
Y North (m):	3408.7
Z Elevation (m):	0.0
Description	
Control Type	Unsig
Max v/c Ratio:	0.66
Intersection Delay (s):	9.2
Intersection LOS:	A
ICU:	0.57
ICU LOS:	B

Ilustración 46.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 27.

Maniobra	FHP	Volumen de diseño	Vo p	Capacidad potencial	Capacidad	Carril compartido	Demo ra	Longitud de cola
izq primario	0,868421 053	152	256	1379	1379	1590	7,50	0,32
no existe	0,8	0	0	0	0	1590	0,00	0,00
Der primario	0,879213 483	356	0	1700	1700	1590	0,00	0,00
izq primario	0,8	130	356	1266	1266	871	9,86	0,52
Directo	0,8	244	0	1700	1700	871	0,00	0,00
Der primario	0,8	12	0	1700	1700	871	0,00	0,00
no existe	0,8	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8	0	0	0	0	0	0,00	0,00
dir secundario	0,920731 707	164	117 0	334	251	283	113,1 9	7,44
der secundario	0,8	42	250	1108	1108	283	19,93	0,51

Fuente: elaboración propia.

5.16. Resultados obtenidos del 23-1-2019 A. M.

Con los datos del aforo se procede a calcular el porcentaje de vehículos pesados, el volumen horario de máxima demanda y el factor de hora pico por maniobra, para ingresar estos datos al *software* SYNCHRO 8. Estas son las variables, junto con los intervalos críticos y de seguimiento, que tiene el MOPT para el diseño de intersecciones en Costa Rica. Las probabilidades de no cola en los diferentes accesos, tanto de maniobras de prioridad 2 como de prioridad 3, junto con los volúmenes horario de máxima demanda, los intervalos críticos y de seguimiento y los volúmenes horarios de máxima demanda, se utilizan para desarrollar la metodología HCM 2010.

En la siguiente imagen, se observa una captura de pantalla del SYNCHRO 8 con los volúmenes y, seguidamente, los datos obtenidos de la intersección una vez desarrollado el programa.

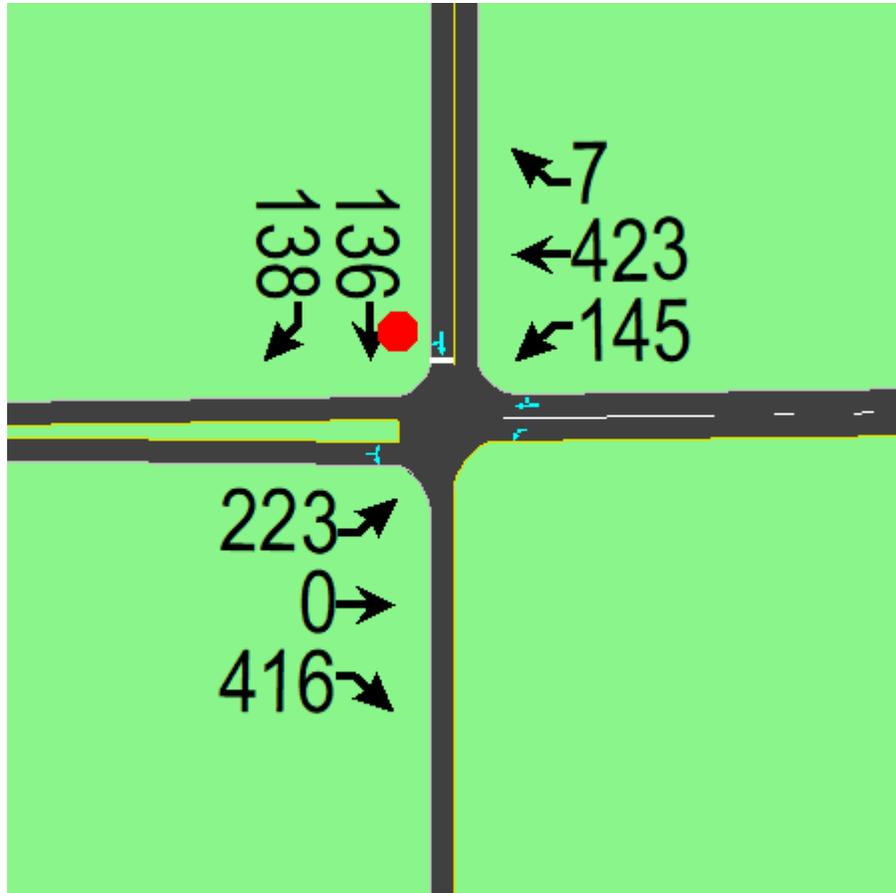


Ilustración 47.

Fuente: elaboración propia.

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
Traffic Volume (vph)	223	0	416	145	423	7	0	0	0	0	136	138
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Median Width (m)	—	3.6	—	—	3.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWLT Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	4.1	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.23	—	0.23	0.16	0.29	0.29	—	—	—	—	1.63	1.63
Control Delay (s)	2.9	—	5.1	8.7	0.0	0.0	—	—	—	—	348.3	348.3
Level of Service	A	—	A	A	A	A	—	—	—	—	F	F
Queue Length 95th (m)	7.0	—	7.0	4.5	0.0	0.0	—	—	—	—	171.5	171.5
Approach Delay (s)	—	5.1	—	—	2.4	—	—	0.0	—	—	348.3	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	F	—

Ilustración 48.

Fuente: elaboración propia.

NODE SETTINGS	
Node #	3
Zone:	
X East (m):	2869.5
Y North (m):	3408.7
Z Elevation (m):	0.0
Description	
Control Type	Unsig
Max v/c Ratio:	1.63
Intersection Delay (s):	69.1
Intersection LOS:	F
ICU:	0.95
ICU LOS:	F

Ilustración 49.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se pueden observar los datos calculados con la metodología HCM 2010, la cual se desarrolló en Microsoft Excel, utilizando como guía el capítulo 19 del manual.

Tabla 28.

Maniobra	FH P	VHM D	Volumen de diseño	Vop	Capacidad potencial	Capacida d	Carril compartido	Demora	Longitud de cola
izq primario	0,8 7	223	256	485	1133	1133	1442	8,03	0,64
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	1442	0,00	0,00
Der primario	0,9 0	416	460	0	1700	1700	1442	0,00	0,00
izq primario	0,8 1	145	180	460	1158	1158	858	10,31	0,79
Directo	0,8 9	423	476	0	1700	1700	858	0,00	0,00
Der primario	0,8 0	7	9	0	1700	1700	858	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
no existe	0,8 0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
dir secundario	0,8 9	136	152	1812 ,5	166	79	141	988,4 0	15,88
der secundario	0,8 0	138	173	480, 5	899	899	141	210,8 4	10,30

Fuente: elaboración propia.

5.17. Gráficos Comparativos de la Intersección 1

En los cuadros comparativos se observa una gran diferencia entre los datos teóricos de la metodología HCM 2010 y el modelaje con el *software* SYNCHRO 8, que utiliza como base el manual de capacidad vial y, a la vez, con los datos tomados en campo.

En los datos tomados en campo existen ciertas acciones que realizan los conductores y que generan incertidumbre en los cálculos, las más influyentes fueron las cortesías y las maniobras indebidas. Las cortesías eran otorgas por los vehículos en el flujo primario, debido a que los conductores del carril de acceso secundario interrumpían un carril de acceso primario, por lo que se detenía el tránsito en las maniobras de prioridad 1. Esto genera grandes colas en el acceso primario. Las maniobras indebidas también generan incertidumbres en los cálculos, debido a que utilizan un carril contra vía, vehículos que se *saltan* la cola, esto produce grandes inconformidades en los conductores que conducen correctamente, debido al alto riesgo de accidentes y a la imprudencia que se comete.

En esta intersección, los datos de campo son mucho más altos que los datos teóricos, por lo que se puede comprobar que lo que se analiza teóricamente o para diseño de nuevas intersecciones no se ajusta a la realidad vial de Costa Rica, en el caso de intersecciones controladas por altos y cedas.

14-1-2019 P. M.

Tabla 13.

Cuadro comparativo				
maniobra	7		9	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	120	267	120	267

Met. HCM 2010	54	123,019048	54	123,019048
Synchro 8	41	42,6	41	42,6

Fuente: elaboración propia.

Gráfico comparativo 14-1-2019 PM

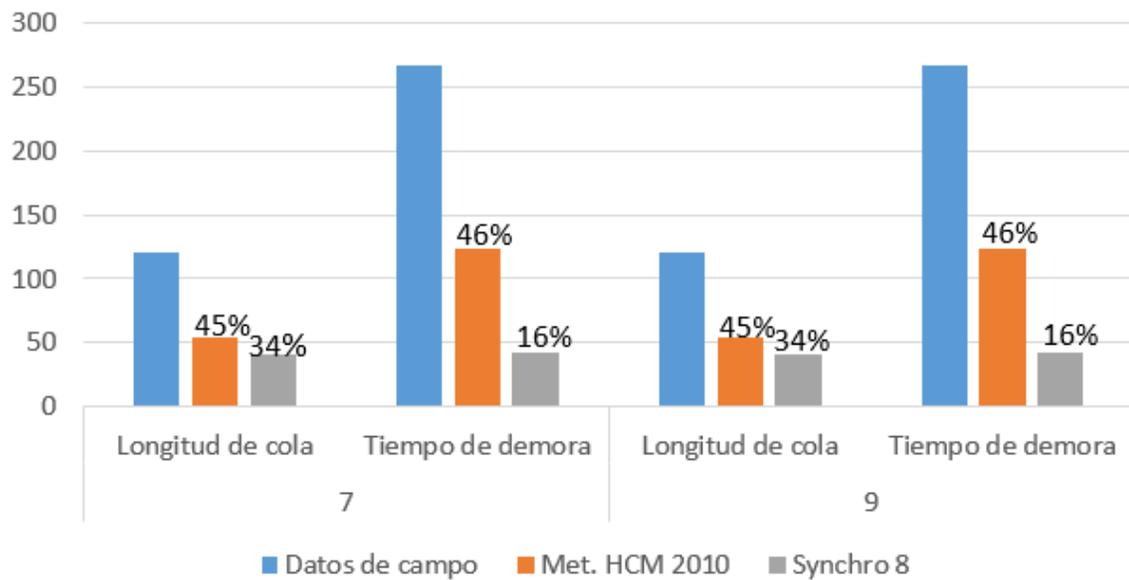


Ilustración 50.

Fuente: elaboración propia.

15-1-2019 A. M.

Tabla 30.

Cuadro comparativo				
maniobra	7		9	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	25	55	25	55

Met. HCM 2010	10	20,080979	10	20,080979
Synchro 8	9,2	10	9,2	10

Fuente: elaboración propia.

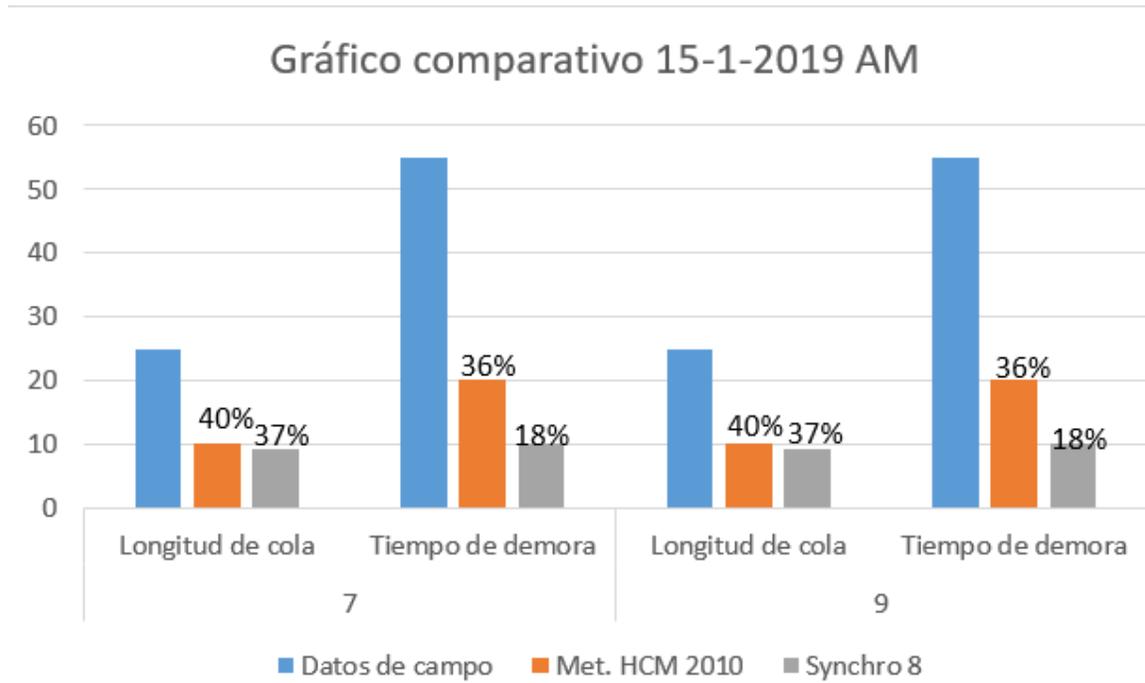


Ilustración 51.

Fuente: elaboración propia.

16-1-2019 A. M.

Tabla 31.

Cuadro comparativo				
maniobra	7		9	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	35	50	35	50
Met. HCM 2010	8	18,512438	8	18,512438

Synchro 8	6,9	13,4	6,9	13,4
------------------	-----	------	-----	------

Fuente: elaboración propia.

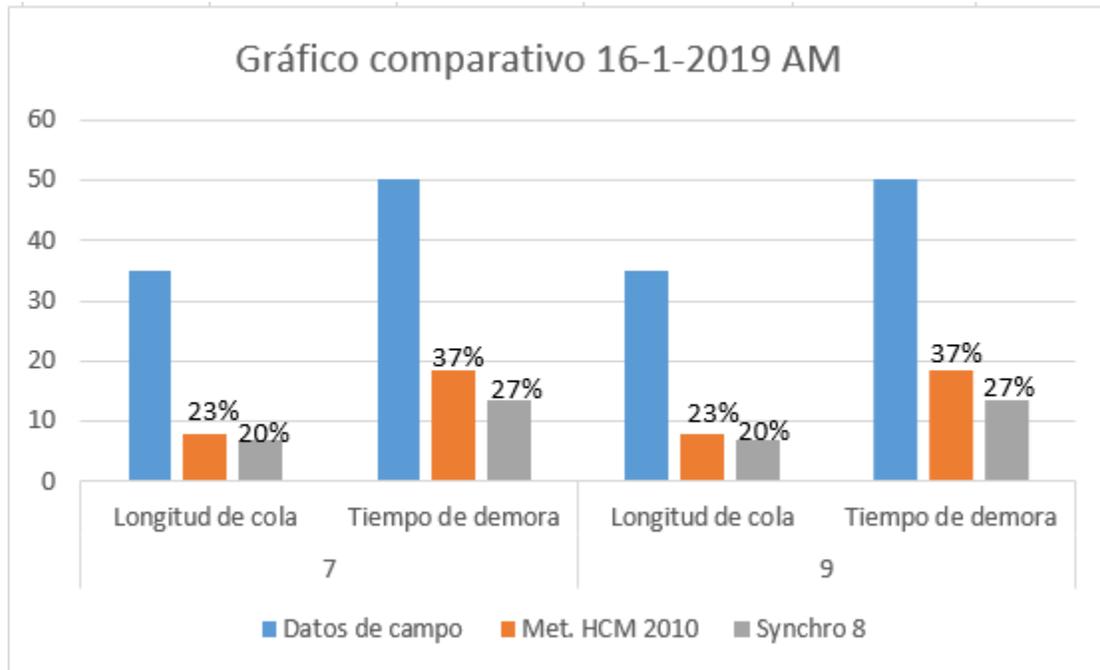


Ilustración 52.

Fuente: elaboración propia.

16-1-2019 P. M.

Tabla 32.

Cuadro comparativo				
maniobra	7		9	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	150	477	150	477
Met. HCM 2010	44	120,746	44	120,746
Synchro 8	39,3	53,2	39,3	53,2

Fuente: elaboración propia.

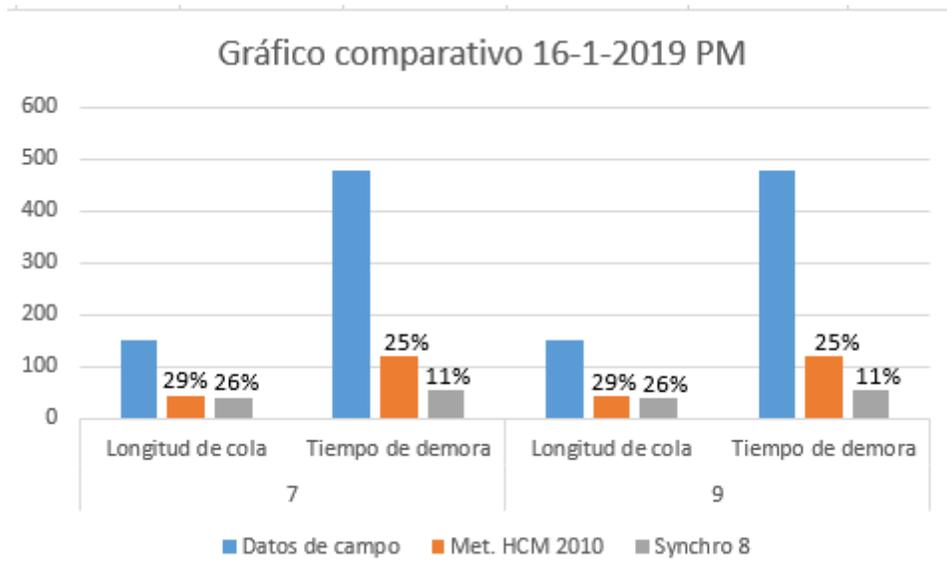


Ilustración 53.

Fuente: elaboración propia.

17-1-2019 P. M.

Tabla 33.

Cuadro comparativo				
maniobra	7		9	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	150	335	150	335
Met. HCM 2010	46	108,11924	46	108,11924
Synchro 8	40,2	47,1	40,1	47,1

Fuente: elaboración propia.

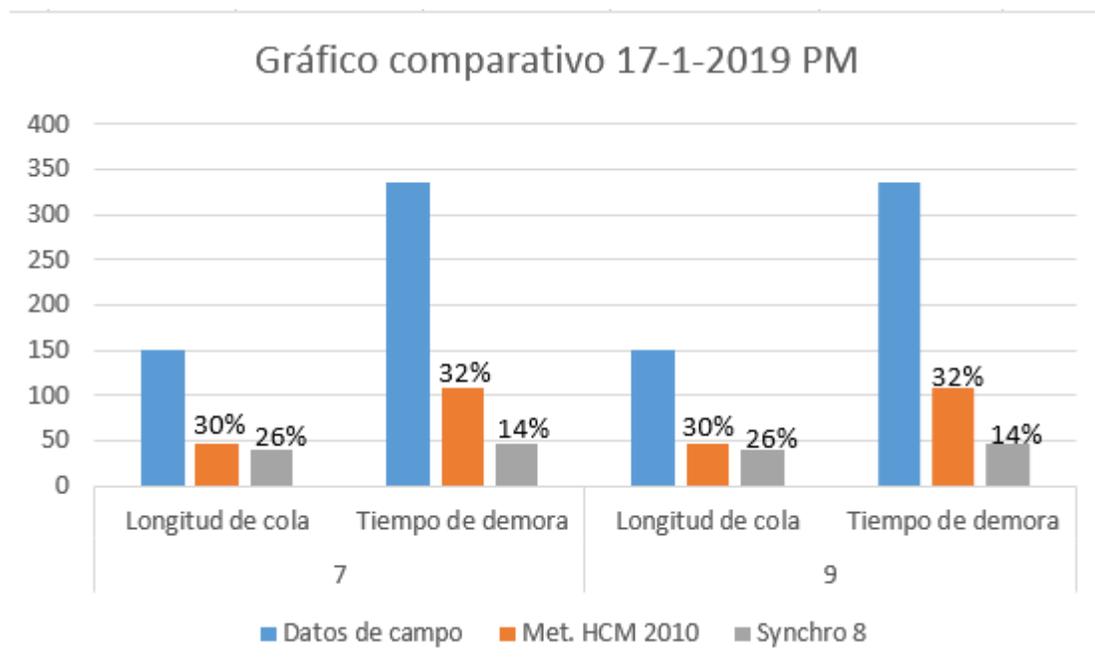


Ilustración 54.

Fuente: elaboración propia.

18-1-2019 A. M.

Tabla 34.

Cuadro comparativo				
maniobra	7		9	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	25	40	25	40
Met. HCM 2010	7	16,886727	7	16,886727
Synchro 8	6,6	12,9	6,6	12,9

Fuente: elaboración propia.

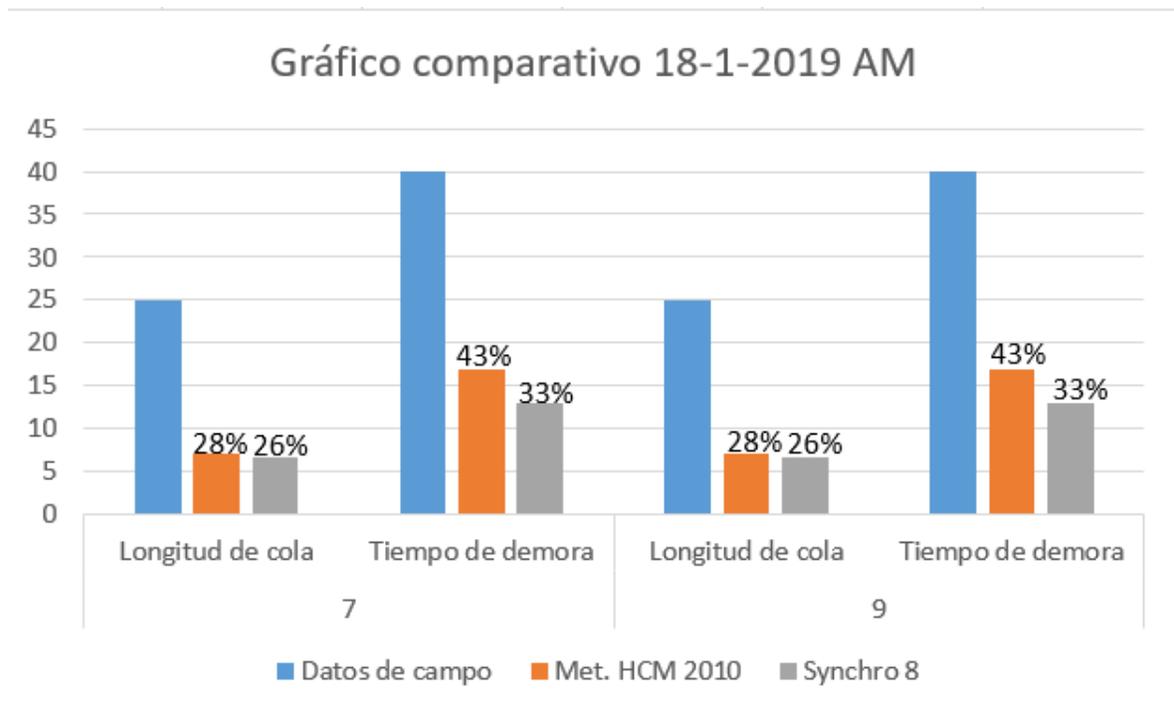


Ilustración 55.

Fuente: elaboración propia.

5.18. Gráficos Comparativos Intersección 2

En la intersección #2 se observó una variación en los resultados obtenidos en las horas pico de la tarde. A diferencia de la intersección #1, en la mayoría de cálculos teóricos, tanto de SYNCHRO 8 como con la metodología HCM 2010, los resultados eran valores más altos que los datos tomados del campo.

Se pudo observar que las cortesías en esta intersección son más frecuentes y se paralizan los dos carriles principales, por un tiempo que permitía que se descongestionara gran parte de la cola en el acceso secundario. Otra acción que se observó fue que, si no recibían cortesía para realizar una maniobra izquierda secundaria, cambiaban su maniobra a una derecha secundaria, esto se pudo observar por el cambio en las direccionales y se debe a que es más rápido realizar un giro derecho secundario.

Los vehículos pesados también otorgaban cortesías, debido a que el radio de giro no era el correcto para vehículos largos y, en caso de que un conductor del acceso secundario no estuviera en el lugar correspondiente para realizar el ALTO,

este vehículo del acceso principal otorgaba la cortesía para realizar el giro izquierdo primario sin complicaciones.



Ilustración 56.

Fuente: Google Earth.

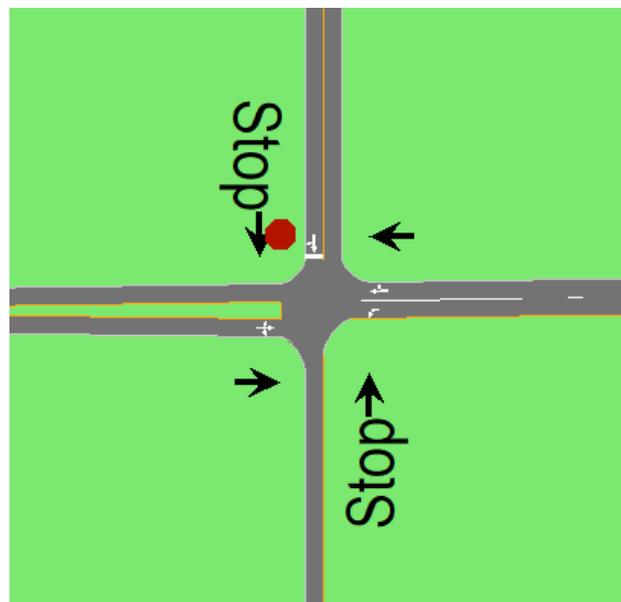


Ilustración 57.

Fuente: Synchro 8.

El modelaje de esta intersección, en SYNCHRO 8, no se realizó de la forma en la que es el cruce en realidad, debido a que la metodología HCM 2010 solo puede

analizar intersecciones en Tee o en Cruz, por lo que las maniobras hacia avenida 7 y calle 2 se tomaron como una sola, debido a que en avenida 7 el volumen vehicular es muy bajo.

21-1-2019 A. M.

Tabla 35.

Cuadro comparativo				
maniobra	11		12	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	65	120	65	120
Met. HCM 2010	30	51	30	51
Synchro 8	22	24	22	24

Fuente: elaboración propia.

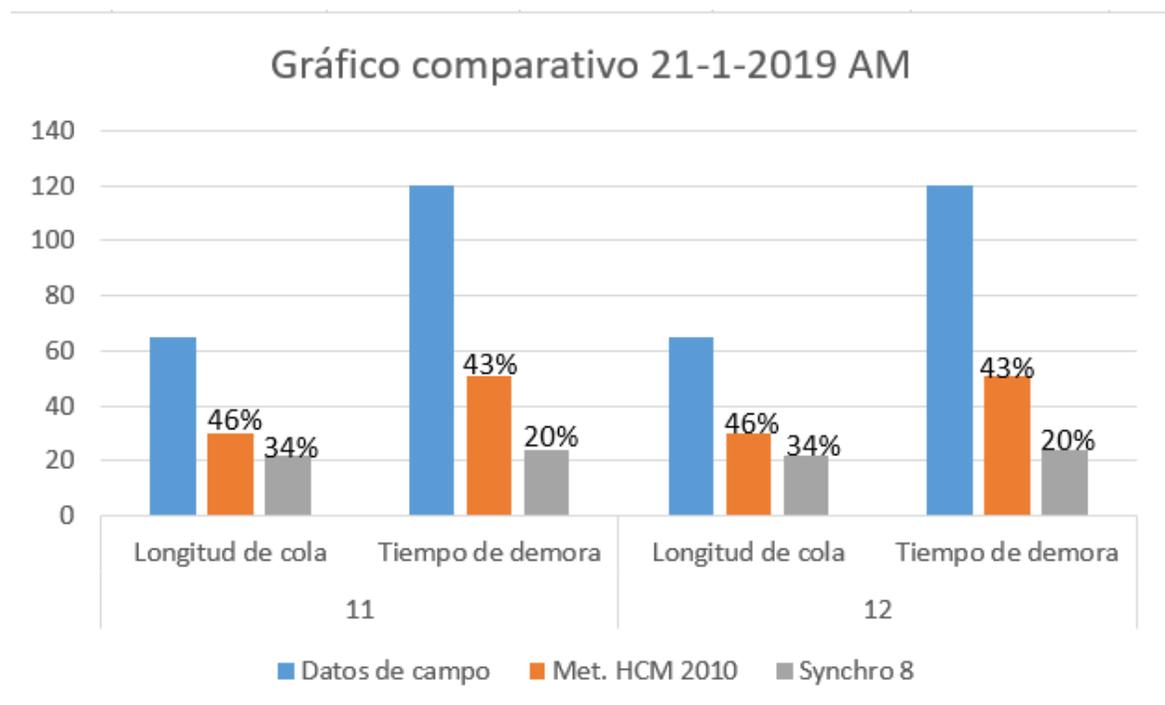


Ilustración 58.

Fuente: elaboración propia.

21-1-2019 P. M.

Tabla 36.

Cuadro comparativo				
maniobra	11		12	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	100	220	100	220
Met. HCM 2010	60	230	60	230
Synchro 8	86	156	86	156

Fuente: elaboración propia.

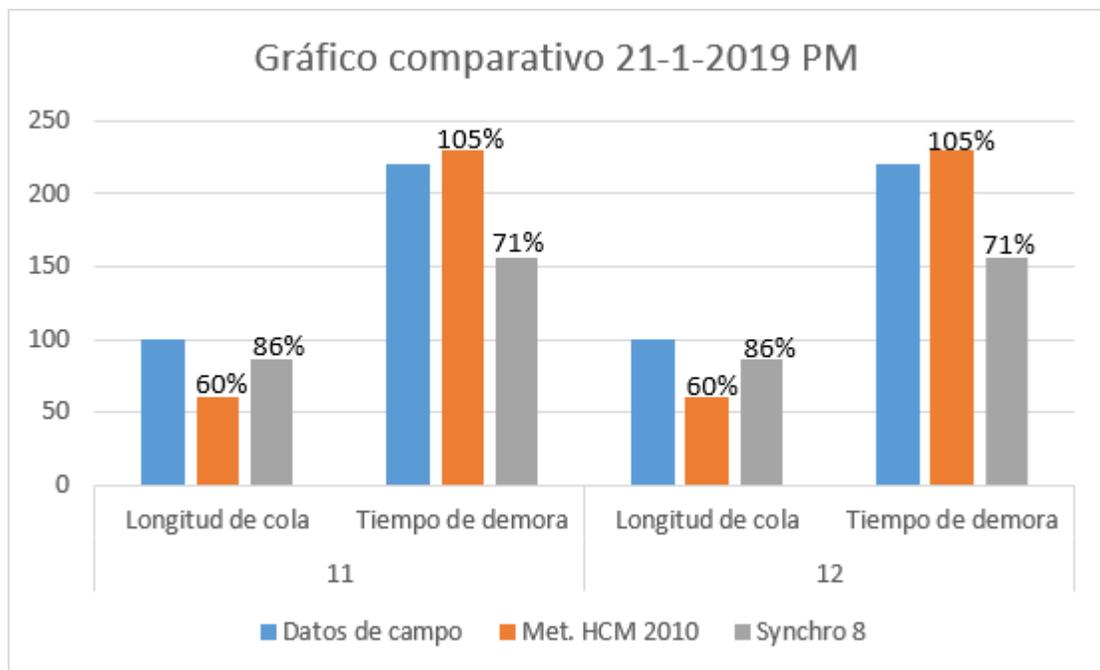


Ilustración 59.

Fuente: elaboración propia.

22-1-2019 A. M.

Tabla 37.

Cuadro comparativo				
maniobra	11		12	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	65	116	65	116
Met. HCM 2010	60	120	60	120
Synchro 8	47	46	47	46

Fuente: elaboración propia.

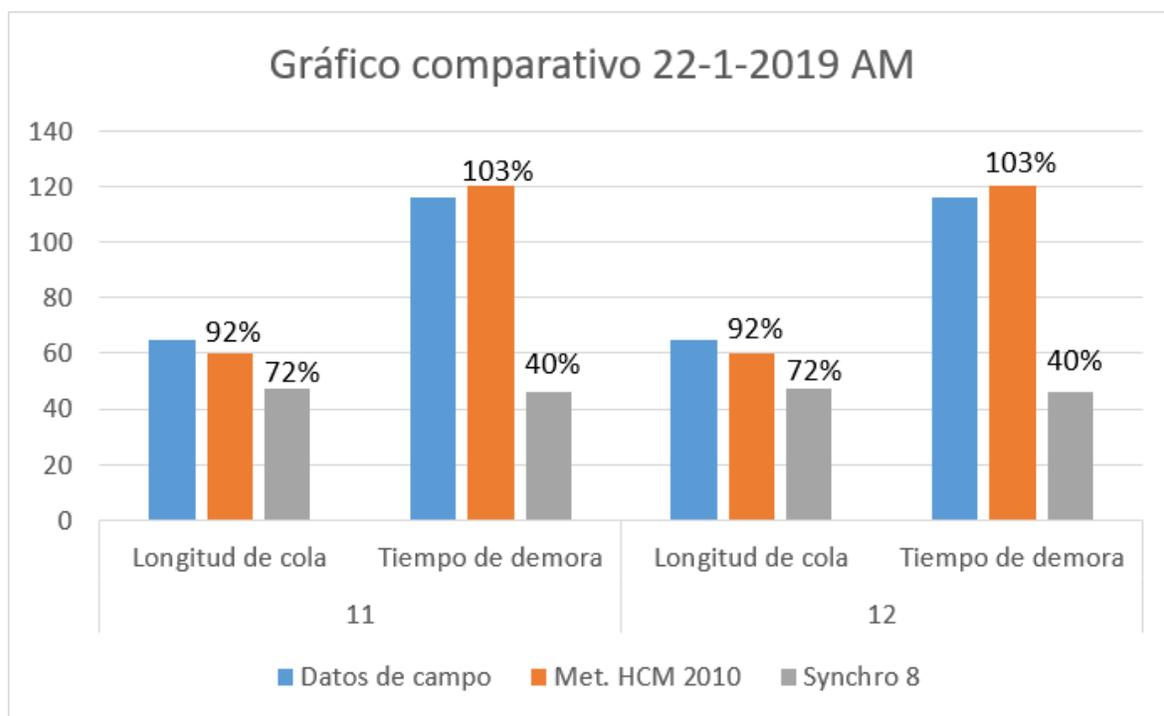


Ilustración 60.

Fuente: elaboración propia.

22-1-2019 P. M.

Tabla 38.

Cuadro comparativo				
maniobra	11		12	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	100	226	100	226
Met. HCM 2010	84	478	84	478
Synchro 8	115	188	115	188

Fuente: elaboración propia.

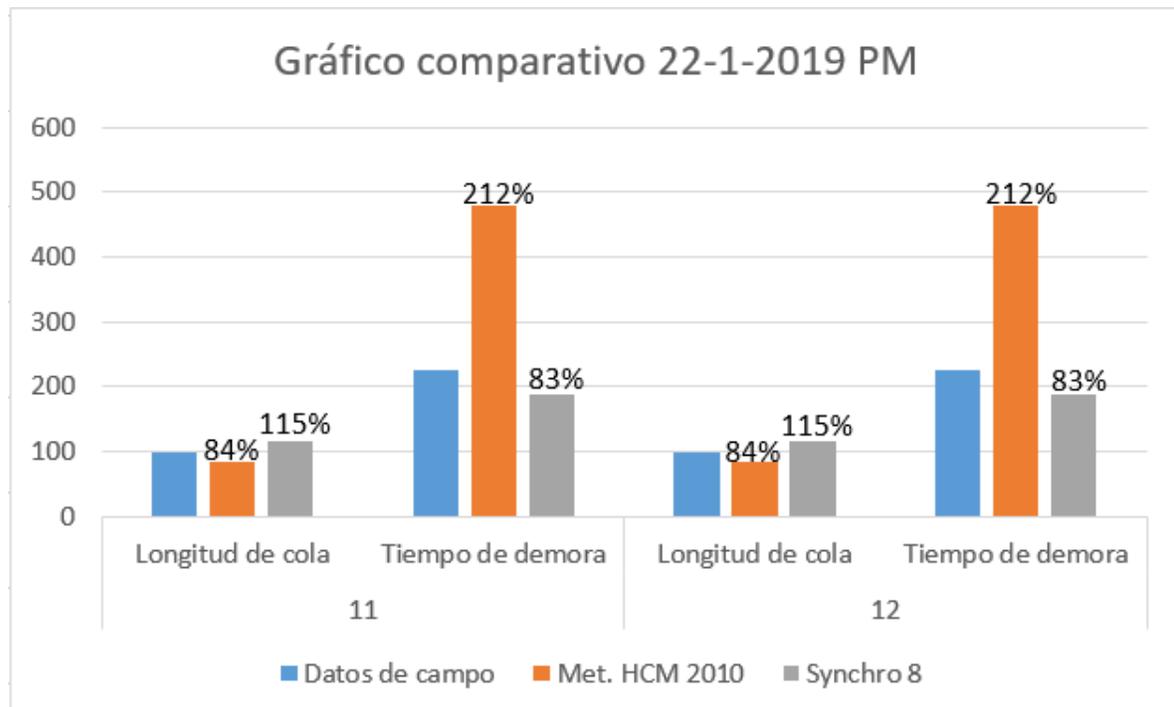


Ilustración 61.

Fuente: elaboración propia.

23-1-2019 A. M.

Tabla 39.

Cuadro comparativo				
maniobra	11		12	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	65	121	65	121
Met. HCM 2010	48	94	48	94
Synchro 8	35	37	35	37

Fuente: elaboración propia.

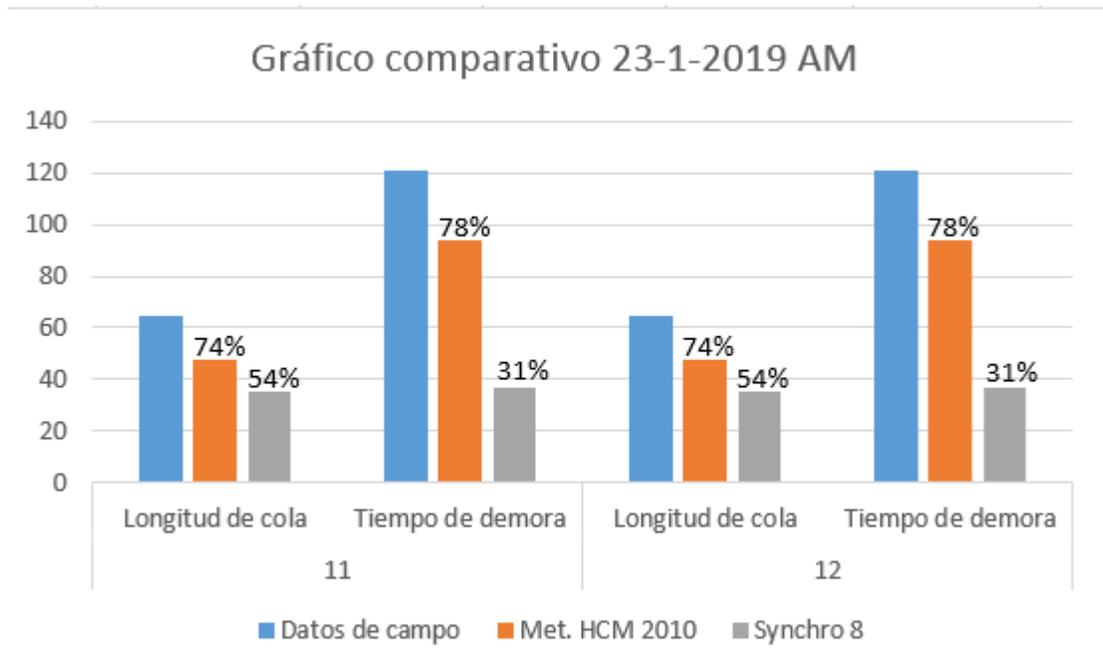


Ilustración 62.

Fuente: elaboración propia.

23-1-2019 P. M.

Tabla 40.

Cuadro comparativo				
maniobra	11		12	
	Longitud de cola	Tiempo de demora	Longitud de cola	Tiempo de demora
Datos de campo	100	190	100	190
Met. HCM 2010	96	575	96	575
Synchro 8	171	348	171	348

Fuente: elaboración propia.

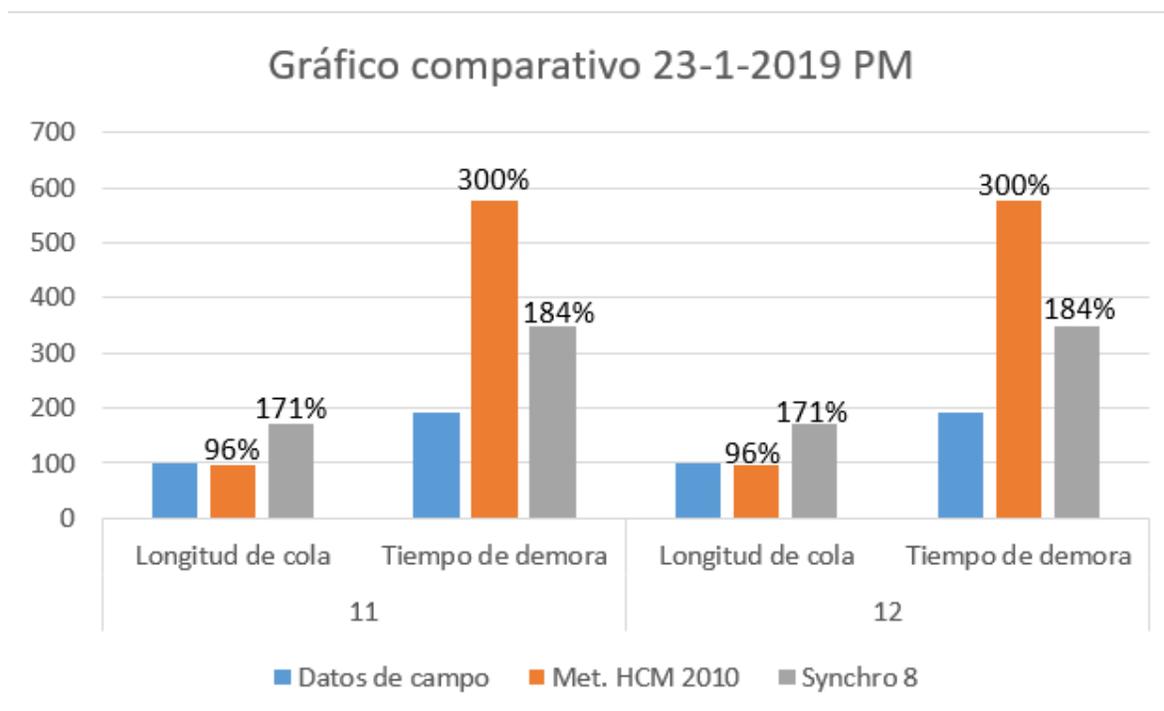


Ilustración 63.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Después de analizar los datos obtenidos a partir de la metodología HCM 2010, el modelaje de la intersección en el *software* SYNCHRO 8 y los datos adquiridos en el campo, se logró comprobar que no existe similitud alguna entre estos en las dos intersecciones analizadas.
- Los aforos vehiculares, en las dos intersecciones, se utilizaron como base para tener información real en cuanto al comportamiento de la intersección en las horas pico, de la mañana y en la tarde, tanto de las colas generadas como los tiempos de demora por vehículos.
- A pesar de que el *software* SYNCHRO 8 está programado con la metodología HCM 2010, se obtuvieron diferencias bastante altas y, a la vez, discrepancias con los datos de campo.
- No se puede determinar con certeza cual metodología es mejor, esto se debe a varios factores: se realizaron ciertas modificaciones en las intersecciones para desarrollarlas con la metodología, las cortesías otorgadas por los conductores del flujo primario hacia los conductores del acceso secundario para que puedan realizar la maniobra y la falta de educación vial, por parte de los usuarios de la red.
- Se seleccionaron 5 intersecciones preliminares, para justificar 2 intersecciones, estas fueron escogidas debidos a su congestionamiento y problemáticas en las horas pico, en el cantón de Grecia.

6.2. Recomendaciones

Con los datos obtenidos con esta investigación, tanto en el proceso como en la etapa de análisis de los resultados, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Incrementar la cantidad de los niveles de servicio especificados, esto se

debe a que 6 niveles no logran abarcar la gravedad de la problemática en el país, ya que un nivel de servicio F es igual con un tiempo de demora de 40 segundos o de 300 segundos, como se pudo ver en algunos casos, en los conteos realizados en las intersecciones.

- Realizar un reajuste a los intervalos críticos y de demora, debido a que los tiempos determinados no parecen ser reales, según lo observado en campo, y estos afectan directamente las fórmulas del HCM 2010 y el modelaje de la intersección en SYNCHRO 8.
- Cambiar la capacidad de un carril principal dictada por el MOPT, la cual es de 1700 vehículos por hora, esta es la misma, independientemente de si es un carril asfaltado o de lastre, si tiene un ancho de 3.5 metros o de 3 metros, lo que cambia la capacidad de este.

REFERENCIAS

Alcaldía Mayor de Bogotá D. C. (2005). Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Bogotá, Colombia. Recuperado de: http://www.cittus.com/aym_images/files/Manuales_de_Planeacion_Tomo_I.pdf

Asamik224. (2019). Pinterest. Recuperado de: <https://ar.pinterest.com/asamik224/>

Baraty, N. (2011). Intersection NYC. Behance. Recuperado de: <https://www.behance.net/gallery/2050351/Intersection%20%7C%20NYC>

Benavides, F. (2018). Validación de la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM) respecto a la realidad vial urbana del cuadrante del distrito de Escazú. Heredia, Costa Rica.

Birello, C. (2018). Casi la mitad de las mujeres se sienten inseguras en el transporte público. La verdad online. Recuperado de: <https://laverdadonline.com/casi-la-mitad-de-las-mujeres-se-sienten-inseguras-en-el-transporte-publico/>

Boyd. (2019). Tips for safe driving at intersections. Boyd autobody y Glass. Recuperado de: <https://www.boydautobody.com/articles/tips-for-safe-driving-at-intersections>

Brilon, W., Wu, N. (2001). Capacity at unsignalized intersections derived by conflict technique. Transportation Research Record, No. 1776, pp. 82-90. Recuperado de: <https://doi.org/10.3141/1776-11>

Díaz, L. (2009). Análisis vial de dos intersecciones sin semáforo en zona aledaña a nuevo terrapuerto de Piura. Piura, Perú

Gu, Hashimoto, Hsu, Iryo-Asano, Kamijo. (2016). Human-like motion planning model for driving in signalized intersections. Tokyo, Japón. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.11.002>

Instituto Mexicano del Transporte, Secretaria de comunicaciones y transportes

(1991). Manual de capacidad vial de 1985. Querétaro, México. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt17.pdf>

Laveaga, A. (2017). Para una ciudad inteligente empecemos a conectar las intersecciones viales. Noiselab. Recuperado de: <http://noiselab.com/blog/movilidad/una-ciudad-inteligente-empezemos-las-intersecciones/>

López, S., López, J. (2006). Evaluación de los intervalos de aceptación de los conductores que esperan en una intersección con señal de pare en forma de T o Y en tres intersecciones en Manizales. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/11051513.pdf>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes. San José, Costa Rica.

MrSl4yer. (2019). Wallpapers Hd Gamers. Salud y bienestar nuevo post del día. Recuperado de: <http://saludybienestar.nuevopostdeldia.com/post/10070/Megapost-Wallpapers-Hd-Gamers-Im%C3%A1genes>

Real Academia Española. (2014). Diccionario de la Lengua Española (23.^a ed.). Madrid, España. Recuperado de: <https://dle.rae.es/?w=diccionario>

Rivera, S., Cárdenas, D. (2012). Aceptabilidad de intervalos (brechas) para maniobras en intersecciones de prelación vial. Recuperado de: [https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/196/Aceptabilidad%20de%20intervalos%20\(brechas\)%20para%20maniobras%20en%20intersecciones%20de%20prelaci%C3%B3n%20vial.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/196/Aceptabilidad%20de%20intervalos%20(brechas)%20para%20maniobras%20en%20intersecciones%20de%20prelaci%C3%B3n%20vial.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rodríguez, R., Muñoz, A. (2007). Evaluación de intervalos de aceptación de los conductores que esperan en tres intersecciones urbanas de Manizales con señal de pare. Recuperado de:

<http://bdigital.unal.edu.co/1077/1/ricardoandresrodriguez.2007.pdf>

Roth, D. (2015). What is the law on yielding in a uncontrolled intersection. Law offices of David S. Roth. Recuperado de: <https://rothlegal.com/what-is-the-law-on-yielding-in-an-uncontrolled-intersection/>

Sampieri, R., Collado, C., Baptista, M. (2010). Metodología de la investigación (6 Edición). México DF, México. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edición.compressed.pdf>

Topsimages. (2019). Signs danish traffic jam. Topsimages. Recuperado de: <https://www.topsimages.com/images/signs-danish-traffic-jam-funny-memes-68.html>

Transportation Research board. (2010). Highway Capacity Manual. Washington, D. C.

Wagner, Jr., Frederick A. (1965). An evaluation of fundamental driver decisions and reactions at an intersection. Washington D. C., EE. UU.

ANEXOS

Tabla 41. *Conteo Preliminar*

Resumen													
Intersección Ruta 118 con calle 4												Fecha	17/10/2018
Maniobra	2	vp (2)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	7	vp(7)	9	vp (9)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	117	6	31	1	6	2	90	6	39	2	10	0
	4:45-5:00	111	6	28	1	8	0	112	5	41	2	10	2
	5:00-5:15	124	5	26	4	6	3	108	7	46	3	11	1
	5:15-5:30	122	4	30	3	13	4	114	10	40	1	13	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 42. *Conteo Preliminar*

Resumen										
Intersección avenida 9 con calle 6									Fecha	18/10/2018
Maniobra	4	vp(4)	6	vp (6)	8	vp (8)	11	vp(11)		
Tiempo (A. m.)	6:30-6:45	26	0	0	0	4	0	14	1	
	6:45-7:00	55	1	14	0	25	0	29	1	
	7:00-7:15	33	3	3	2	19	0	18	4	
	7:15-7:30	25	0	1	0	8	0	14	0	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 43. *Conteo Preliminar*

Resumen															
Intersección Ruta 118 con calle 4														Fecha	
Maniobra	1	vp (1)	3	vp(3)	4	vp(4)	5	vp(5)	6	vp(6)	11	vp(11)	12	vp(12)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	43	2	95	12	26	0	99	6	2	0	30	3	21	2
	4:45-5:00	54	3	106	11	31	1	88	3	2	0	33	3	46	2
	5:00-5:15	49	3	101	8	38	2	96	7	1	0	33	5	36	3
	5:15-5:30	42	2	94	6	29	2	115	12	1	0	38	4	29	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 44. *Conteo Preliminar*

Resumen									
Intersección avenida 3 con calle 6								Fecha	19/10/2018
Maniobra	4	vp(4)	6	vp (6)	10	vp (10)	11	vp(11)	
Tiempo (p. m.)	4:30-4:45	12	0	11	1	39	0	57	1
	4:45-5:00	8	0	11	0	66	4	37	0
	5:00-5:15	6	0	7	0	87	3	35	2
	5:15-5:30	11	0	15	0	60	2	27	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 45. *Conteo Preliminar*

Resumen								
Intersección Avenida Central León Cortes Castro y Calle 1							Fecha	
Maniobra	5	vp (5)	6	vp(6)	7	vp(7)	8	vp (8)
Tiempo (p. m.)	72	4	15	0	28	2	14	0
	85	5	21	1	35	3	19	0
	89	4	14	0	31	2	20	1
	95	4	16	0	29	2	16	1

Fuente: elaboración propia.



Ilustración 64.

Fuente: elaboración propia.



Ilustración 65.

Fuente: elaboración propia.