





Universidad Latina de Costa Rica  
Facultad de Ingenierías y  
Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones  
Escuela de Ingeniería Civil

Licenciatura en Ingeniería Civil  
Tesis de grado

**VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM 2010  
RESPECTO A LA REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE  
CENTRAL DE BARVA DE HEREDIA**

Autor: José Fabián Bolaños Espinoza

Heredia, septiembre, 2019

## Hoja del Tribunal Examinador



### TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM 2010 RESPECTO A LA REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE CENTRAL DE BARVA DE HEREDIA.", 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 MARÍA ULATE ZÁRATE  
TUTOR



---

ING. DANIEL ALONSO CHACÓN OVIEDO  
LECTOR



---

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

## **Hoja del Comité Asesor**

### **COMITÉ ASESOR**

**ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE**

**TUTOR**

**ING. DANIEL ALONSO CHACÓN OVIEDO**

**LECTOR**

**ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ, PH. D**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

## Carta de Aprobación del Tutor



### CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (TESIS DE GRADO)

Heredia, 04 de septiembre, 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 2010 respecto a la realidad vial urbana del cuadrante central de Barva de Heredia" por parte del estudiante: José Fabián Bolaños Espinoza, como requisito para que el citado estudiante pueda 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 Ulate Zárate

## Carta de Aprobación del Lector



### CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (TESIS DE GRADO)

Heredia, 04 de septiembre, 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 2010 respecto a la realidad vial urbana del cuadrante central de Barva de Heredia" por parte del estudiante: José Fabián Bolaños Espinoza, como requisito para que el citado estudiante pueda 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. Daniel Chacón Oviedo

# Carta de Aprobación del Filólogo

## Carta de filóloga

12 de septiembre, 2019.

Señores  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad N° 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento denominado **VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA HCM 2010 RESPECTO A LA REALIDAD VIAL URBANA DEL CUADRANTE CENTRAL DE BARVA DE HEREDIA**, del estudiante **José Fabián Bolaños Espinoza**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente,



Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro  
Código del Colegio 3554

# Carta de autorización al CRAI



## "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 " y "*

José Fabián Bolaños Espinoza

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil  
autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Tesis  
titulado:

Validación de la metodología HCM 2010 respecto a la realidad vial urbana del cuadrante central de Barva de Heredia

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) **Nueve** del mes **Septiembre** del año **2019** a las **16:29**. 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 *Según orden de mención al inicio de ésta carta:*



## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios nuestro señor Jesucristo, sin él no hubiera sido posible tan difícil tarea, gracias a él y a su infinita misericordia por darme esa fuerza, dedicación y paciencia necesaria para afrontar dicho reto y poder cumplirlo de la mejor manera.

Agradezco a toda mi familia, a mis papás, a mi hermana, los cuales han sido siempre mi pilar, por brindarme apoyo y amor sin medida, a mis tíos y a mis primos por siempre creer en mí y nunca dudar de mi capacidad. A todos ellos por nunca dejarme solo a lo largo de tan difícil proceso, y por siempre enseñarme el valor del esfuerzo.

También quiero agradecerles a todos mis profesores que tuve a lo largo de mi carrera, pero en especial a mi tutor el Ing. José María Ulate, ya que me ha guiado con mucha paciencia a lo largo de todo este proceso.

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar el presente proyecto primeramente a Dios, sin él nada de esto hubiera sido posible, fue su amor y paz lo que me ayudó a cumplir este reto y no rendirme a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino.

Esta tesis se la dedico a toda mi familia, con muchísimo amor, sin ellos no hubiera podido realizar tan dura prueba, gracias infinitas por ese amor y dedicación, por cada palabra de aliento que me dieron, gracias a ellos pude lograr alcanzar una de mis metas.

## **Resumen**

Se realizó la comparación de tres intersecciones controladas por señales de Alto y Ceda en el cantón de Barva de Heredia, durante un periodo de tres días durante, las horas pico tanto en la mañana como en la tarde, mediante el uso de la metodología HCM-2010, el software Synchro 8 y los datos obtenidos en la investigación de campo.

Se desarrolló la metodología HCM-2010 de forma manual para poder obtener los valores de la longitud de cola, los tiempos de demora y los niveles de servicio para cada una de las maniobras establecidas en las intersecciones, asimismo se modularon cada una de ellas en el programa Synchro 8 para así obtener los mismos parámetros y así poder comparar los resultados obtenidos mediante la utilización de gráficas y tablas.

Se afirma que no se presenta una correlación entre el manual HCM 2010, el software Synchro 8 y la realidad vial del cuadrante central de Barva de Heredia. Cada dato obtenido es diferente, por ende, no guardan ni presentan ninguna relación entre ellos.

## **Abstract**

The comparison of three intersections controlled by Alto and Ceda signals in the canton of Barva de Heredia, during a period of three days during the peak hours both in the morning and in the afternoon, was made using the HCM- methodology. 2010, Synchro 8 software and data obtained in field research.

The HCM-2010 methodology was developed manually in order to obtain the values of the queue length, delay times and service levels for each of the maneuvers established at the intersections, each of them was also modulated in the Synchro 8 program to obtain the same parameters and thus be able to compare the results obtained through the use of graphs and tables.

It is claimed that there is no correlation between the HCM 2010 manual, Synchro 8 software and the road reality of the central quadrant of Barva de Heredia. Each data obtained is different, therefore, they do not keep or present any relationship between them.

## Contenido

Antecedentes .....	23
Planteamiento del Problema .....	24
Hipótesis.....	24
Objetivo General .....	24
Objetivos Específicos .....	25
Justificación del problema.....	25
Alcance y Limitaciones .....	26
Impacto.....	26
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1 Ingeniería de transporte y tránsito .....</b>	<b>27</b>
<b>1.2 Principios fundamentales del flujo de tránsito .....</b>	<b>27</b>
<b>1.3 Relación entre la demanda vehicular y la oferta vial.....</b>	<b>28</b>
<b>1.4 Patrón Urbano.....</b>	<b>28</b>
<b>1.5 Factores que intervienen en la problemática del tránsito.....</b>	<b>30</b>
1.5.1 Falta de planificación en el tránsito.....	30
1.5.2 Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas.....	30
1.5.3 Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad .....	30
1.5.4 Falta de asimilación por parte del usuario y del gobierno.....	31
1.5.5 El automóvil no considerado como una necesidad pública .....	31
<b>1.6 Estudios de ingeniería del tránsito.....</b>	<b>31</b>
1.6.1 Categorías de estudio de tránsito.....	31
1.6.1.1 Estudios de Volumen.....	31
<b>1.7 Velocidad de un Vehículo .....</b>	<b>32</b>
1.7.4 Velocidad modal .....	33
<b>1.8 Desviación estándar.....</b>	<b>33</b>
<b>1.9 Densidad.....</b>	<b>34</b>
<b>1.10 Ocupación vial .....</b>	<b>35</b>
1.10.1 Ocupación en tiempo.....	35
1.10.2 Ocupación en espacio.....	35
<b>1.11 Avance .....</b>	<b>35</b>
<b>1.12 Tipos de Aforo vehicular .....</b>	<b>36</b>
<b>1.13 Tipos de conteo de volumen.....</b>	<b>36</b>

1.13.1	Conteo de Intersecciones.....	36
1.13.2	Conteo Periódico de Volumen .....	37
1.14	Manual de capacidad de carreteras HCM-2010.....	37
1.15	Manual de capacidad de carreteras HCM-2010 y su uso en Costa Rica.....	37
1.16	Modos de Transporte .....	38
1.16.1	Modo automóvil.....	38
1.16.1.1	Variables del modo automóvil.....	38
1.16.1.2	Parámetros básicos del flujo de automóviles de acuerdo con el Transportation Research Board TRB .....	39
1.16.1.3	Volúmenes de tránsito absolutos.....	40
1.16.1.4	Volúmenes de tránsito inferiores a una Hora (Qi) .....	40
1.16.1.5	Volúmenes de tránsito promedio diario (TPD).....	40
1.17	Elementos de un sistema de calzada .....	42
1.17.1	Segmentos.....	42
1.17.2	Puntos .....	42
1.17.3	Corredores .....	42
1.17.4	Áreas.....	42
1.17.5	Estructuras.....	43
1.17.6	Sistema .....	43
1.18	Medición del rendimiento del sistema .....	43
1.19	Nivel de Servicio .....	44
1.20	Movimientos y enumeración de fases en intersecciones controladas por alto y ceda....	46
1.21	Teoría de Colas.....	47
1.22	Variación en la demanda .....	48
1.23	Hora Pico.....	48
1.24	Software Synchro 8 .....	49
1.25	Determinación de los volúmenes opuestos (VP,) .....	50
1.26	Intervalo crítico y de seguimiento.....	50
1.27	Capacidad potencial.....	51
1.28	Capacidad para un movimiento.....	51
1.29	Probabilidad de No cola en acceso principal .....	52
1.30	Factor de ajuste de Capacidad .....	52
1.31	Ajuste de capacidad por carril compartido .....	52

1.32 Demora .....	52
<b>CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>53</b>
2.1 Paradigma de la investigación.....	53
2.2 Enfoque Metodológico .....	53
2.2.1 Enfoque cuantitativo .....	53
2.3 Métodos de investigación propuestos .....	54
2.4 Categorías de análisis de la investigación.....	55
2.4.1 Operacionalización de variables .....	55
2.5 Población.....	56
2.6 Muestra .....	56
2.7 Muestreo.....	56
2.8 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	57
2.8.1 Metodología del manual HCM 2010.....	57
2.8.2 Factor de Hora pico (FHP).....	57
2.8.3 Determinación de los volúmenes opuestos ( <b>VP</b> ) .....	58
2.8.4 Capacidad potencial.....	58
2.8.4 Capacidad para un movimiento.....	59
2.8.5 Probabilidad de No cola en acceso principal .....	59
2.8.5 Factor de ajuste de Capacidad.....	60
2.8.6 Capacidad de movimiento de prioridad 3 .....	60
2.8.7 Ajuste de capacidad por carril compartido .....	60
2.8.8 Calculo P'' .....	60
2.8.9 Calculo P' .....	61
2.8.10 Factor de ajuste de capacidad para movimientos de prioridad 4.....	61
2.8.11 Capacidad para un movimiento de prioridad 4 .....	61
2.8.12 Demora .....	62
2.8.13 Longitud de cola .....	62
2.8.14 Aforo Vehicular .....	63
2.8.15 Medición de cola .....	63
2.8.16 Medición de demoras .....	64
2.8.17 Documentación de datos .....	64
2.9 Técnicas e instrumentos para el análisis y procesamiento de datos.....	65
2.9.1 Nivel de servicio .....	65

<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
<b>3.1 Análisis de Datos .....</b>	<b>66</b>
<b>3.2 Datos y resultados obtenidos .....</b>	<b>84</b>
<b>3.2.1 Datos obtenidos el jueves 09 de mayo en horario matutino.....</b>	<b>84</b>
<b>3.2.2 Datos obtenidos el jueves 09 de mayo en horario vespertino .....</b>	<b>88</b>
<b>3.2.3 Datos obtenidos el viernes 10 de mayo en horario matutino .....</b>	<b>93</b>
<b>3.2.4 Datos obtenidos el viernes 10 de mayo en horario Vespertino .....</b>	<b>97</b>
<b>3.2.5 Datos obtenidos el lunes 13 de mayo en horario matutino .....</b>	<b>102</b>
<b>3.2.6 Datos obtenidos el lunes 13 de mayo en horario vespertino .....</b>	<b>107</b>
<b>3.3 Gráficos y Cuadros Comparativos .....</b>	<b>112</b>
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>130</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>131</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>132</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>134</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1. Patrón urbano de demanda vehicular y oferta vial.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 2. Variación de la demanda vehicular a través de las horas del día.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 3. Niveles de servicio para tramos de carretera.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 4. Movimiento vehicular y peatonal en intersecciones de cuatro accesos y tipo “t”... </b>	<b>29</b>
<b>Figura 5. Colas presentes en el puente Juan Pablo II.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 6. Tasa de flujo en intervalos de 5 minutos.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 7. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 8. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 9. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 10. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 11. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 12. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 13. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 14. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 15. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>96</b>



<b>Figura 16. Simulación de la intersección 1 en Synchrono 8 para el viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 17. Simulación de la intersección 2 en Synchrono 8 para el viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura18. Simulación de la intersección 3 en Synchrono 8 para el viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 19. Simulación de la intersección 1 en Synchrono 8 para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 20. Simulación de la intersección 2 en Synchrono 8 para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 21. Simulación de la intersección 3 en Synchrono 8 para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 22. Simulación de la intersección 1 en Synchrono 8 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 23. Simulación de la intersección 2 en Synchrono 8 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 24. Simulación de la intersección 3 en Synchrono 8 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 25. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 26. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 27. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 28. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 29. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 30. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 31. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 32. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 33. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 34. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>116.</b>
<b>Figura 35. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>117</b>
<b>Figura36. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>117</b>

<b>Figura 37. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 a.m.</b> .....	118
<b>Figura 38. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 a.m.</b> .....	118
<b>Figura 39. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 p.m.</b> .....	119
<b>Figura 40. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 p.m.</b> .....	119
<b>Figura 41. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 a.m.</b> .....	120
<b>Figura 42. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 a.m.</b> .....	120
<b>Figura 43. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 p.m.</b> .....	121
<b>Figura 44. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 p.m.</b> .....	121
<b>Figura 45. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 a.m.</b> .....	122
<b>Figura 46. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 a.m.</b> .....	122
<b>Figura 47. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 p.m.</b> .....	123
<b>Figura 48. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 p.m.</b> .....	123
<b>Figura 49. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 a.m.</b> .....	124
<b>Figura 50. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 a.m.</b> .....	124
<b>Figura 51. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 p.m.</b> .....	125
<b>Figura 52. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 p.m.</b> .....	125
<b>Figura 53. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 a.m.</b> .....	126

<b>Figura 54. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 55. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 56. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 57. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 58. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 59. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 60. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>129</b>

## Lista de tablas

<b>Tabla 1. Movimiento vehicular y peatonal en intersecciones de cuatro accesos y tipo “t” ..</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 2. Intervalos críticos y de seguimiento utilizados en Costa Rica.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3. Plantilla utilizada para la recolección de datos de campo (am).....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 4. Tiempos de Demora promedio, según el nivel de servicio.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 5. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (a.m.) en la Intersección 1.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 6. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (p.m.) en la Intersección 1.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 7. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (a.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 8. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (p.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 9. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (a.m.) en la Intersección 3.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 10. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (p.m.) en la Intersección 3.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 11. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (a.m.) en la Intersección 1.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 12. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (p.m.) en la Intersección 1.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 13. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (a.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 14. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (p.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 15. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (a.m.) en la Intersección 3.....</b>	<b>76</b>

<b>Tabla 16. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (p.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 17. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (a.m.) en la Intersección 1.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 18. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (p.m.) en la Intersección 1.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 19. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (a.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 20. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (p.m.) en la Intersección 2.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 21. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (a.m.) en la Intersección 3.....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 22. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (p.m.) en la Intersección 3.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 23. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 24. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 25. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 26. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 27. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 28. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el jueves 09/05/19 a.m.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 29. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 30. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 31. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 32. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 33. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 34. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el jueves 09/05/19 p.m.....</b>	<b>93</b>

<b>Tabla 35. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 36. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 37. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 38. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 39. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 40. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el viernes 10/05/19 a.m.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 41. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 42. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 43. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 44. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 45. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 46. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el viernes 10/05/19 p.m.....</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 47. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 48. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 49. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 50. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 51. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>106</b>

<b>Tabla 52. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el lunes 13/05/19 a.m.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 53. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 54. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 55. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 56. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 57. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 58. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el lunes 13/05/19 p.m.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 59. Cuadro comparativo, intersección 1 09/05/19 a.m.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 60. Cuadro comparativo, intersección 1 09/05/19 p.m.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 61. Cuadro comparativo, intersección 2 09/05/19 a.m.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 62. Cuadro comparativo, intersección 2 09/05/19 p.m.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 63. Cuadro comparativo, intersección 3 09/05/19 a.m.....</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 64. Cuadro comparativo, intersección 3 09/05/19 p.m.....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 65. Cuadro comparativo, intersección 1 10/05/19 a.m.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 66. Cuadro comparativo, intersección 1 10/05/19 p.m.....</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 67. Cuadro comparativo, intersección 2 10/05/19 a.m.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 68. Cuadro comparativo, intersección 2 10/05/19 p.m.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 69. Cuadro comparativo, intersección 3 10/05/19 a.m.....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 70. Cuadro comparativo, intersección 3 10/05/19 p.m.....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 71. Cuadro comparativo, intersección 1 13/05/19 a.m.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 72. Cuadro comparativo, intersección 1 13/05/19 p.m.....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 73. Cuadro comparativo, intersección 1 13/05/19 a.m.....</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 74. Cuadro comparativo, intersección 2 13/05/19 p.m.....</b>	<b>127</b>
<b>Tabla 75. Cuadro comparativo, intersección 3 13/05/19 a.m.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 76. Cuadro comparativo, intersección 3 13/05/19 p.m.....</b>	<b>129</b>

## Antecedentes

En la actualidad, la mayor parte de las investigaciones realizadas en Costa Rica para el análisis de intersecciones están centradas principalmente a las que son controladas por semáforos y existe muy poca documentación referente a la validación de la metodología HCM 2010 en intersecciones no semaforizadas. Afortunadamente, algunas investigaciones realizadas en el exterior pueden ofrecer una guía o así bien servir de referencia para resolver los problemas planteados en esta investigación.

Vera, Lino (2012). Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima. El autor de esta investigación empleó la metodología HCM 2010 y el programa Synchro 7.0 para obtener los datos de tasas de flujo de saturación, demoras por control y extensiones máximas de cola para una intersección semaforizada en Lima para posteriormente compararlas con valores obtenidos de campo.

Jerez y Morales (2015). Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azogues. Los autores tenían como finalidad proporcionar el análisis de capacidad y nivel de servicio, mediante la realización de aforos vehiculares para algunas intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, en la ciudad de Azogues aplicando su respectiva metodología.

Reyna, Peña (2015). Propuesta de mejora de niveles de servicio en dos intersecciones. El autor propone una alternativa para mejorar el nivel de servicio de dos intersecciones en el sector de Miraflores, realizando aforos vehiculares y comparándolas con información que se procesó basándose en el HCM y el programa Synchro Traffic 8.0.

De igual manera se encuentra la tesis para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina

Jiménez, Gómez (2019). Validación de la metodología del manual HCM 2010 para el análisis de capacidad de dos intersecciones, controladas por señales de alto y ceda, en San Antonio del Tejar de Alajuela. El cual comparó los resultados del HCM 2010, Synchro 8 y

del estudio de campo para dos intersecciones controladas por alto y ceda ubicadas en San Antonio de Alajuela. Se concluyó que existe cierta inconsistencia entre los tres resultados.

## **Planteamiento del Problema**

Actualmente para el diseño de las vías en Costa Rica se utilizan Metodologías como la HCM (Highway Capacity Manual o Manual de Capacidad de Carreteras) y softwares computacionales tales como el Synchro 8. Debido a la utilización de estos medios extranjeros de diseño que fueron desarrollados para países cuya economía permite tener una infraestructura adecuada para poder utilizarlas. En Costa Rica se tienen ciertas inconsistencias con los resultados que se obtienen en la realidad con los obtenidos con dicha metodología.

¿Es correcto aplicar la metodología HCM 2010 para el diseño de intersecciones controladas por alto y ceda?

¿Es correcto afirmar que el cantón de Barva de Heredia presenta un congestionamiento bastante elevado?

¿Qué tan parecidos serán los resultados con la aplicación de los tres diferentes métodos?

## **Hipótesis**

Los resultados del análisis de capacidad, longitud de cola y demora de las intersecciones seleccionadas utilizando la metodología HCM 2010 y el programa Synchro 8 presentan diferencias en los resultados que se pueden observar en la realidad del sector de Barva de Heredia.

## **Objetivo General**

Validar la metodología HCM 2010 respecto a la situación actual de la vía urbana del cuadrante central de Barva de Heredia.



## **Objetivos Específicos**

- Realizar aforos vehiculares para las intersecciones sujetas a estudio.
- Analizar las intersecciones ubicadas en Barva de Heredia utilizando la metodología HCM 2010.
- Obtener el análisis de capacidad de las intersecciones seleccionadas mediante el software Synchro 8.
- Comparar los resultados obtenidos entre la metodología HCM 2010 y con el software Synchro 8.

## **Justificación del problema**

El control de la congestión forma parte de la elaboración de una visión estratégica de largo plazo del desarrollo de una ciudad, que permita compatibilizar la movilidad, el crecimiento y la competitividad, tan necesarias actualmente, con la sostenibilidad y su calidad de vida.

El caos vial que se vive en la actualidad merece revisarse con detenimiento para entender cuáles son sus raíces, alcances, repercusiones en la sociedad. Consiste en un problema que va creciendo día con día, de una manera muy acelerada, y el cual afecta a la totalidad de la población.

A su vez, el problema del tránsito vehicular presenta muchas consecuencias como lo son: ecológicos, económicos, psicológicos, entre otros. La calidad de vida de los habitantes se ve severamente dañada a partir de la dificultad de moverse en vehículo, asimismo, para los peatones la situación no es fácil, porque la densidad monumental del tráfico, con los problemas anexos que ello acarrea, hace que la movilización no sea sencilla aún caminando.

Actualmente existe una enorme cantidad de vehículos circulando por diversas partes del país todos los días, lo cual, claramente genera una enorme congestión vehicular, principalmente en las zonas donde la mayor parte de la población reside, pero ¿Por qué existe ese congestionamiento?, es realmente sencillo, se debe a que el sistema de carreteras de Costa

Rica fue diseñado con el objetivo de soportar un nivel de vehículos muchísimo menor en comparación con el que se cuenta hoy en día.

A partir de los resultados obtenidos con la presente investigación, se podrá observar si las calles de Costa Rica efectivamente están diseñadas y preparadas para soportar el flujo vehicular que se presenta en las intersecciones en estudio, y así, determinar posibles soluciones al problema del caos vehicular.

## **Alcance y Limitaciones**

Realizar el análisis de capacidad, longitud de cola y demora de tres intersecciones ubicadas en el sector de Barva de Heredia, utilizando la metodología HCM 2010 y también se procederá a modelarlas en el programa Synchro 8.

El aforo vehicular se realizará todos los miércoles durante un plazo de tres semanas en períodos del día previamente definidos por el MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte) como “Hora Pico” con la ayuda de varias personas para recolectar los datos y solo se tomará en cuenta automóviles livianos y pesados excluyendo las bicicletas o motocicletas y así poder verificar si existe congruencia entre los resultados obtenidos por el HCM 2010 y la realidad urbana.

Asimismo, esta investigación solo se tomarán en cuenta las intersecciones que son controladas por alto y ceda, dejando por lado cualquier otro tipo de intersección.

## **Impacto**

El impacto que se espera obtener con la realización de esta investigación es meramente teórico, ya que se van a recolectar los datos necesarios para poder realizar una comparación entre la realidad vial de los puntos de estudio, los valores teóricos obtenidos utilizando el manual HCM 2010 mediante las ecuaciones para análisis de capacidad, longitud de cola y demora y los resultados del programa Synchro 8.

# **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1 Ingeniería de transporte y tránsito**

El transporte como tal ha tenido un papel importante en cada uno de los aspectos de desarrollo de las civilizaciones antiguas y modernas. En la medida que la civilización se ha tornado más compleja, se ha incrementado la necesidad de unir las distintas actividades que se llevan a cabo en lugares separados transportando personas, animales y mercancías en diversos medios de comunicación.

Debido al acelerado crecimiento de la población, se transportan cada vez mayores cantidades de bienes y personas; por lo que ha sido inminente el conservar en mejores condiciones los caminos, así como proyectar y construir las nuevas vialidades con mejores criterios y normas; con el objeto de que el recorrido a través de los caminos se realice de forma económica, cómoda y segura.

## **1.2 Principios fundamentales del flujo de tránsito**

Según (Acosta, 2008) en la teoría del flujo de tránsito se plantea el desarrollo de relaciones matemáticas entre los elementos principales de un flujo vehicular, los cuales son densidad, velocidad y flujo. Esto con el fin de brindarle una ayuda al ingeniero a la planificación, diseño y evaluación de un sistema de carretera para así determinar, de una manera correcta, las longitudes de los carriles de almacenamiento, la demora promedio para las intersecciones o cruces, y a su vez, el área para la incorporación al tránsito por medio de rampas en los viaductos, resguardando así los vehículos que realizan un giro a la izquierda.

De igual manera es importante mencionar que otra aplicación de esta teoría es la simulación mediante el uso de algoritmos matemáticos para evaluar las complejas interrelaciones existentes en el flujo vehicular y así lograr estimar los efectos producidos por los cambios en dicho flujo, sobre factores tales como accidentes, consumo de combustible, tiempo de viaje y contaminación del aire.

### 1.3 Relación entre la demanda vehicular y la oferta vial

Con base en lo citado por (Cal y Mayor, 2007) la demanda vehicular se define como la cantidad de vehículos que requieren transitar por un determinado sistema vial u oferta vial, dentro de esta se encuentran los vehículos que están circulando en dicho sistema. Mientras que, por otra parte, la oferta vial representa el espacio físico, ya sea las calles o las carreteras, utilizadas por los vehículos, por lo tanto, la oferta vial se puede definir como la cantidad máxima de vehículos que pueden transitar en dicho espacio físico.

### 1.4 Patrón Urbano

En la siguiente figura se logra identificar mediante un esquema la demanda (vehículos) y la oferta vial (calles y carreteras) en una zona urbana.

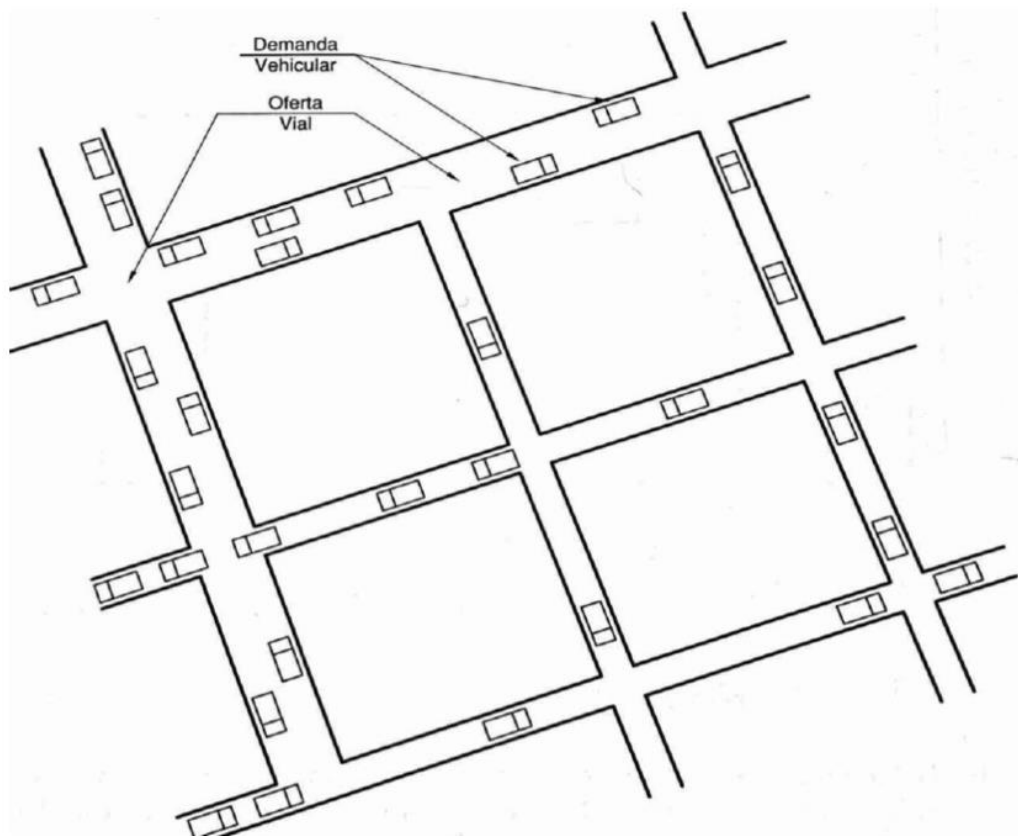


Figura 1. Patrón urbano de demanda vehicular y oferta vial

Fuente: Cal y Mayor. Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones

Según lo que expresa (Osiris, 2015) la demanda es producida por los diferentes vehículos que circulan y los que acceden a las calles, según la densidad de la edificación. Una de las principales características que tiene la oferta vial es su capacidad, tomando como base la cantidad de carriles y las velocidades de desplazamiento de los automóviles.

Si la demanda vehicular es menor que la oferta vial (demanda vehicular < oferta vial), este permite un flujo no saturado, donde los niveles de operación son aceptables. Cuando la demanda vehicular es igual a la oferta vial (demanda vehicular = oferta vial), el tránsito se puede volver inestable y, por ende, puede generar congestión, debido a que este se encuentra en su máxima capacidad, sin embargo, cuando la demanda vehicular es mayor a la oferta vial (demanda vehicular > oferta vial), se producen grandes filas y tiempos de demora elevados.

La figura 2 demuestra gráficamente cómo varía la demanda vehicular (q) a través de las horas del día, para una sección transversal de una calle con su capacidad (c).

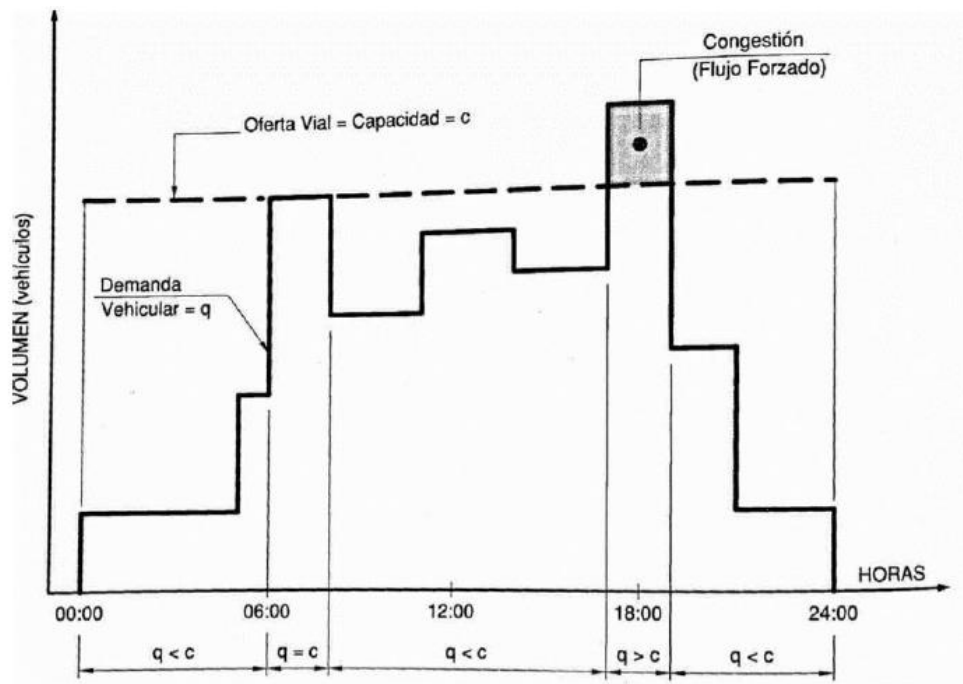


Figura 2. Variación de la demanda vehicular a través de las horas del día  
Fuente: Cal y Mayor. Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones

## **1.5 Factores que intervienen en la problemática del tránsito**

Según (Cal y Mayor, 2007) las ciudades dependen principalmente de sus sistemas de calles, estas ofrecen servicios de transporte para las personas o para diferentes objetos, no obstante, en muchos casos estos sistemas tienen que operar muy por encima de su capacidad, debido a que la demanda de transporte es muy elevada originando así problemas de tránsito, tales como accidentes y congestiónamiento.

Consecutivamente se enunciarán cinco factores que pueden incrementar estos problemas y que tienen que ser tomados en cuenta a la hora de buscar una solución.

### **1.5.1 Falta de planificación en el tránsito**

- A. Intersecciones proyectadas sin bases técnicas.
- B. Baja previsión para los estacionamientos, lo que ocasiona que las personas tengan que estacionar a la orilla de la carretera.
- C. Localización incorrecta de las zonas residenciales, en relación con las zonas comerciales e industriales.
- D. Calles, carreteras y puentes que se siguen construyendo con especificaciones muy antiguas y no actualizadas.

### **1.5.2 Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas**

- A. Escases o hasta ausencia de aceras.
- B. Carreteras que no han sido adaptadas a las condiciones actuales.
- C. Calles angostas, torcidas y con pendientes muy pronunciadas.
- D. Ausencia de cambios en el trazo urbano.

### **1.5.3 Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad**

- A. Diferentes tipos de automóviles.
- B. Autobuses de alta velocidad.
- C. Diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración.

- D. Camiones pesados de baja velocidad, incluyendo los remolques.
- E. Motocicletas, bicicletas, vehículos de manos, entre otros.

#### **1.5.4 Falta de asimilación por parte del usuario y del gobierno**

- A. Falta de educación vial del conductor y del peatón.
- B. Legislación y reglamentos del tránsito que tienden más a forzar al usuario de los mismos que adaptarse a las necesidades del usuario.

#### **1.5.5 El automóvil no considerado como una necesidad pública**

- A. Falta de apreciación de las autoridades sobre la necesidad del vehículo dentro de la economía de transporte.
- B. Falta de apreciación del público en general a la importancia del vehículo automotor.

### **1.6 Estudios de ingeniería del tránsito**

#### **1.6.1 Categorías de estudio de tránsito**

##### **1.6.1.1 Estudios de Volumen**

El estudio de volumen se lleva a cabo con la intención de obtener datos reales y certeros sobre la cantidad de automotores y transeúntes que transitan por cierta sección de la carretera en un periodo determinado. Este tipo de estudios presentan muchas variables ya que se pueden realizar en todo un sistema vial o en lugares más específicos como lo son: rotondas, puentes, intersecciones, entre otros.

En Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) publicó una guía para la elaboración de un estudio de impacto funcional y seguridad vial, también conocida como EIFSV, la cual, representa la nueva tendencia a nivel mundial como herramienta de diagnóstico, que ayuda a definir, cuantitativa y cualitativamente, cualquier posible afectación que sufrirían las vías existentes en una determinada zona en la cual se construya un nuevo proyecto, ya sea de tipo residencial, industrial o comercial.

Asimismo, la guía elaborada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, con el fin de realizar el estudio de impacto funcional y seguridad vial (EIFSV), indica que la magnitud del estudio por realizar cuenta con variables específicas para cada caso en particular y, por ende, es recomendable observar los siguientes elementos para dimensionar el estudio, sin que el mismo se vea limitado:

- Los viajes generados por el desarrollo del proyecto.
- El detalle de los análisis de generación de viajes a futuro.
- El área de influencia del proyecto.
- Proyectos adyacentes al desarrollo propuesto.
- Características de la vialidad existente.
- Los modos de viaje.
- Crecimiento del tránsito del área y la asignación de los viajes.
- Mejoras en las vías que estén planificadas o en proceso de construcción.
- Análisis de capacidad vial que se utilizará.
- Cambios en el control del tránsito.
- Método y grado de detalle de la distribución y asignación de los viajes.
- El detalle de los análisis de generación de viajes a futuro.

## 1.7 Velocidad de un Vehículo

La velocidad de un vehículo se define como la rapidez a la que viaja el mismo, en Costa Rica se expresa en kilómetros por hora (km/h) y en lugares como los Estados Unidos de América la unidad que utilizan es millas por hora (mi/h). La velocidad es la relación del espacio desplazado entre el tiempo que toma recorrer dicho espacio, y está dada por la siguiente expresión:

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

V = Velocidad constante (Km/h)

d = Distancia recorrida (Km)

t = Tiempo de desplazamiento



### 1.7.2 Velocidad Promedio

La velocidad media o velocidad promedio, consiste en la sumatoria de todas las velocidades documentadas en sitio divididas entre el número de registros, y está dada por la siguiente expresión:

$$u = \frac{\sum f_i * u_i}{\sum f_i}$$

Donde:

u = Media aritmética

$f_i$  = Número de observaciones en cada grupo de velocidad

$u_i$  = Valor medio para el grupo i-ésimo de velocidad

### 1.7.4 Velocidad modal

La velocidad modal es aquel valor de velocidad que más se repite durante el proceso de toma de datos en campo, por debajo del cual viaja el i-ésimo porcentaje de los vehículos, es el valor de velocidad que más se repite durante el proceso de toma de datos en sitio; por ejemplo, la velocidad en el sitio para el percentil 85 es la velocidad por debajo de la cual viaja el 85 por ciento de los vehículos y por arriba de la cual viaja el 15 por ciento de los vehículos (Graber y Hoel, 2005, p. 79).

### 1.8 Desviación estándar

Al existir diferentes velocidades entre los vehículos existe una dispersión en las diferentes velocidades con respecto a la media, la desviación estándar se encarga de medir la dispersión de las velocidades individuales y está dada por la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (U_j - u)^2}{N - 1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar

U = Media aritmética

U<sub>j</sub> = J-ésima observación

N = Número de observaciones

## 1.9 Densidad

Según el Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito en su tomo XII, la densidad consiste en el número de vehículos que se encuentran en un espacio determinado de un carril o de una carretera en un momento específico. Este término describe la proximidad entre vehículos y refleja la libertad de maniobra dentro del flujo vehicular, para los cálculos del manual HCM, la densidad se promedia sobre tiempo y usualmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km) o pasajeros por kilómetro (pc/km).

Sin embargo, medir la densidad es bastante complicado, ya que se requiere mucha observación en los tramos de la carretera y diferentes herramientas como cámaras de video y fotografía, se calcula haciendo uso de la siguiente expresión:

$$D = \frac{v}{S}$$

Donde:

D = Densidad

V = Flujo vehicular (veh/h)

S = Velocidad media

## 1.10 Ocupación vial

La ocupación vial se utiliza como sustituto de la densidad cuando a sistemas de control se refiere, ya que facilita su medición; sin embargo, es necesario conocer las dimensiones del vehículo, de lo contrario la conversión de ocupación a densidad podría arrastrar errores.

### 1.10.1 Ocupación en tiempo

Se define la ocupación en tiempo como la porción de tiempo que tardan los vehículos en atravesar una determinada distancia.

### 1.10.2 Ocupación en espacio.

Según El Transportation Research Board se define como el tramo de vía en el que se encuentran los vehículos.

## 1.11 Avance

Según (Cal y Mayor, 2007) el avance se define como el tiempo medido entre vehículos sucesivos. Conforme avanzan a un determinado punto del carril o de la carretera el avance puede ser con observaciones de campo con un reloj mientras los vehículos transitan por un punto determinado. La relación del promedio de espaciamiento y avance en el flujo vehicular depende de la velocidad, como lo indica lo siguiente:

$$Avance \left( \frac{s}{veh} \right) = \frac{espaciamiento \left( \frac{m}{veh} \right)}{velocidad \left( \frac{m}{veh} \right)}$$

Ambas poseen una relación entre adelantamiento individual y espaciamiento entre pares de vehículos. La velocidad que se utiliza corresponde a la del segundo vehículo del par. El flujo, por su parte, se relaciona con el promedio de avance de la corriente vehicular, como lo muestra la siguiente expresión:

$$Flujo \left( \frac{veh}{h} \right) = \frac{3600 \left( \frac{s}{h} \right)}{avance \left( \frac{s}{veh} \right)}$$

## 1.12 Tipos de Aforo vehicular

Seguidamente se detallan algunos de los métodos existentes hoy en día para realizar aforos vehiculares:

- A. Los aforos manuales, los cuales, son elaborados por seres humanos y esto facilitan tener conocimiento sobre el volumen de los movimientos direccionales en las intersecciones, disposición vehicular y volúmenes por carril.
- B. Los aforos con tecnología, en los que se utilizan los aparatos tecnológicos como cámaras y equipos electrónicos que se adaptan a las computadoras.
- C. Los aforos por combinación de métodos manuales y mecánicos los utilizan personas con los contadores mecánicos.
- D. Los aforos con dispositivos mecánicos cuentan y documentan de forma automática los ejes de los vehículos.

## 1.13 Tipos de conteo de volumen

Los conteos de volumen se realizan con un fin específico, se presentan los siguientes tipos de conteo de volumen:

### 1.13.1 Conteo de Intersecciones

El conteo de intersecciones es utilizado para clasificar vehículos mediante movimientos y los giros efectuados en las intersecciones, los resultados obtenidos de este tipo de conteo tienen como principal funcionalidad ayudar a determinar la longitud de fase y tiempos de ciclo en las intersecciones.

### **1.13.2 Conteo Periódico de Volumen**

Usualmente este tipo de conteo se realiza con la finalidad de actualizar los datos que se han recolectado con anterioridad. Los conteos periódicos de volumen se realizan con diferentes tipos de lapsos los cuales varían entre los 15 minutos a un aforo continuo, los resultados obtenidos se utilizan en el cálculo de características anuales del tránsito.

### **1.14 Manual de capacidad de carreteras HCM-2010**

El manual HCM-2010 es una publicación que realizó el National Research Council en Estados Unidos, por medio de Transportation Research Board (TRB), el cual provee distintas técnicas y métodos para realizar estimaciones de capacidades sobre las vías y determinar niveles de servicio en carreteras e intersecciones, el cual básicamente consiste en una base para realizar la evaluación de la capacidad y el nivel de servicio de los elementos que conforman los sistemas de transporte.

Es un texto completamente enfocado en brindar al ingeniero en transportes, o al investigador, un sistema coherente, confiable y veraz de técnicas para la evaluación de la calidad de servicio presentes en la infraestructura vial, y a su vez, proporciona un conjunto lógico de los métodos de evaluación de dispositivos de tránsito o instalaciones de transporte, basadas en investigaciones realizadas y en resultados obtenidos

### **1.15 Manual de capacidad de carreteras HCM-2010 y su uso en Costa Rica**

El tránsito consiste en uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de una zona urbana y de una región, es por esto que en el punto de vista de la Ingeniería de Tránsito debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica.

En Costa Rica y en la región Centroamericana, las entidades encargadas de construir y dar mantenimiento a la vialidad han adoptado las metodologías propuestas por el manual

HCM; también existen acuerdos establecidos con la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), la cual logró directrices con los países de la región centroamericana, dentro de las cuales existen ciertos lineamientos por seguir con respecto al tema de infraestructura vial. SIECA en su manual realiza un procedimiento por seguir con el propósito de estandarizar los procesos y de esta forma que lo que se haga en una zona se haga de la misma en otra. De acuerdo con SIECA, los efectos de la construcción de una carretera deben minimizarse al máximo.

## **1.16 Modos de Transporte**

El Transportation Research Board en su manual presenta cuatro modos de transporte principales que estudiará el HCM: automóvil, peatón, bicicleta y transporte público

### **1.16.1 Modo automóvil**

En este modo se incluye todo vehículo de motor que utiliza la calzada con la excepción de vehículos de transporte público. De acuerdo con el manual HCM 2010 y sus propósitos de análisis, los camiones, vehículos recreativos, motocicletas y buses de turismo forman parte del modo automóvil.

#### **1.16.1.1 Variables del modo automóvil**

Las variables son generalmente utilizadas para describir el flujo vehicular en una carretera; son los siguientes:

- Tasa de flujo
- Volumen
- Densidad
- Velocidad

### 1.16.1.2 Parámetros básicos del flujo de automóviles de acuerdo con el Transportation Research Board TRB

- **Volumen** es el número total de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una carretera durante un intervalo de tiempo.
- **Flujo vehicular** es el equivalente a la cantidad de vehículos que pasan por un punto dado o una sección de una carretera durante un intervalo de tiempo menor a una hora, normalmente, este intervalo es de 15 minutos.

La principal diferencia entre los conceptos de volumen y tasa de flujo radica en que el volumen es el número de vehículos que se observan o se predice que pasarán por algún tramo de carril o carretera en un intervalo de tiempo, mientras que la tasa de flujo es un parámetro representativo de la cantidad de vehículos que circulan por un punto de un carril o de una carretera, durante un intervalo de tiempo menor a una hora, por lo tanto, la tasa de flujo es la cantidad de vehículos observados durante un periodo menor a una hora, dividido entre el tiempo (horas) de observación.

En concordancia con Cal y mayor y Asociados (s. f.) la edición básica más importante para la disciplina de la ingeniería de tránsito es el aforo, ya sea de vehículos, ciclistas, personas, etc. En este caso es para vehículos y los conteos se realizan para obtener estimaciones de:

- A. Demanda:** se puede definir demanda como la cantidad total de vehículos que desean circular por un punto o tramo de carretera en un periodo específico de tiempo.
- B. Volumen:** es el número máximo de vehículos que circulan por alguna sección de un carril o de una carretera durante un intervalo de tiempo.
- C. Tasa de flujo:** es la frecuencia a la que pasan los vehículos durante un tiempo específico menor a una hora, su expresión se hace en una tasa horaria equivalente.
- D. Capacidad:** es el número máximo de vehículos capaces de pasar por un punto o lugar en un tiempo específico. Es una característica del sistema vial y representa su oferta.

### 1.16.1.3 Volúmenes de tránsito absolutos

Los volúmenes de tránsito absolutos o totales están compuestos por el número total de vehículos que transitan por un lugar específico durante un intervalo de tiempo. Los cuales se detallarán a continuación:

- **Tránsito anual (TA):** es la cantidad total de automotores que pasan por un año.  $T=1$  año.
- **Tránsito mensual (TM):** es la cantidad de vehículos que pasan en un mes siendo  $T=1$  mes.
- **Tránsito semanal (TS):** es la cantidad de vehículos que pasan en una semana siendo  $T=1$  semana.
- **Tránsito diario (TD):** es la cantidad de automotores que pasan en un día siendo  $T=1$  día.
- **Tránsito horario (TH):** es la cantidad de automotores que pasan en una hora siendo  $T=1$  hora.

### 1.16.1.4 Volúmenes de tránsito inferiores a una Hora ( $Q_i$ )

Según lo que se expresa en el libro Ingeniería del tránsito (Cal y Mayor R, 2007), se señala que es el número total de vehículos que circulan en un periodo de tiempo menor a una hora, siendo  $T < 1$  hora, y denota o representa el periodo en minutos.

### 1.16.1.5 Volúmenes de tránsito promedio diario (TPD)

Corresponde al número total de automotores que circulan durante un periodo de tiempo dado, mayor a un día e igual o menor a un año, dividido entre el número de días del periodo, y se puede expresar con de la siguiente manera:



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

La variable “N” significa la cantidad de vehículos que circulan en “T” días, y debido al número de días se tienen los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario:

- **Tránsito promedio diario anual (TPDA)**

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

- **Tránsito promedio diario mensual (TPDM)**

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

- **Tránsito promedio diario semanal (TPDS)**

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

Es importante recalcar que las unidades de las expresiones señaladas anteriormente son vehículos por día (veh/día).

### **1.16.2 Modo transporte público**

Con base en el Transportation Research Board, plantea que las carreteras urbanas normalmente tienen que compartirse con autobuses y otros.

## **1.17 Elementos de un sistema de calzada**

El manual HCM-2010, enumera seis tipos principales de elementos de un sistema de calzada. No obstante, el manual se enfoca en los siguientes tres elementos: puntos, segmentos y estructuras.

### **1.17.1 Segmentos**

Los segmentos consisten en tramos de la carretera entre dos puntos, donde el volumen y las características físicas, usualmente, son constantes a lo largo del segmento de carretera.

### **1.17.2 Puntos**

Según el Transportation Research Board, los puntos se definen como lugares específicos a lo largo de la infraestructura vial, donde:

- ✓ Existe un cambio significativo en la capacidad del segmento.
- ✓ Corriente y flujo de tránsito conflictivos se cruzan, se unen o se separan.
- ✓ Un flujo de tránsito es regulado por dispositivos de control de tránsito.

### **1.17.3 Corredores**

El Transportation Research Board expresa que, los corredores están compuestos por un grupo paralelo de estructuras designadas o dedicadas a facilitar el transporte de personas entre dos puntos.

### **1.17.4 Áreas**

El área se define como el conjunto de estructuras de transporte que están interconectadas entre sí y que facilitan el transporte dentro de un área geográfica específica. La principal diferencia entre un área y un corredor consiste en que las estructuras que conforman el área no necesariamente deben ser paralelas, mientras que en los corredores sí.

### 1.17.5 Estructuras

Las estructuras consisten en tramos de calzada, ciclovías y accesos para peatones, compuestos por diferentes conexiones entre varios puntos y segmentos.

### 1.17.6 Sistema

Los sistemas están compuestos por todas las estructuras de transportes y modos en una región, normalmente, en un gran centro de población existen múltiples corredores que atraviesan su geografía, por lo tanto, se divide el sistema en áreas más pequeñas y, en donde, cada área contiene un número de estructuras que cuentan con segmentos y puntos.

## 1.18 Medición del rendimiento del sistema

El rendimiento de un sistema se debería medir en más de una dimensión, de acuerdo con las indicaciones del manual HCM 2010. Cuando una intersección se analiza, podría ser suficiente el cálculo durante el retraso de la hora pico, sin embargo, cuando un sistema se analiza, la extensión geográfica, la duración del retraso y cualquier cambio de la demanda entre las estructuras y los modos deben también considerarse para su respectivo análisis.

Por ende, es correcto decir que el rendimiento de un sistema puede medirse en las siguientes dimensiones:

- ✓ **Intensidad de la congestión:** el número de congestión experimentada por los usuarios del sistema. En el planeamiento preliminar-ingenieril este aspecto se mide en términos de volumen-capacidad o demanda-capacidad.
- ✓ **Extensión de la congestión:** es la distancia que abarca la congestión, se puede expresar en unidades de dirección, en kilómetros de estructura congestionada. Tomando en cuenta la percepción de los usuarios, sería en términos del porcentaje máximo de congestionamiento del sistema en un intervalo de tiempo.

- ✓ **Cantidad del servicio:** el número de persona-millas y persona-horas provistas por el sistema, mide la utilización del sistema de transporte en términos de número de personas que usan el servicio, la distancia que viajan y el tiempo que tardan viajando.
- ✓ **Variabilidad:** esta se puede definir como la variación diaria de la congestión vehicular. Idealmente, la variabilidad debería ser medida en términos de la probabilidad de ocurrencia o en intervalos de confianza, debido a otros aspectos de la congestión vehicular como la intensidad, duración y extensión.
- ✓ **Accesibilidad:** este parámetro examina la efectividad del sistema desde una perspectiva de intensidad, se puede expresar en porcentajes de viajes o de personas que lograron una meta establecida previamente, como, por ejemplo, lograr realizar un viaje de un punto A hasta un punto B en un tiempo establecido de viaje.

### 1.19 Nivel de Servicio

Según la metodología del manual HCM 2010, se han establecido seis niveles de servicio que son los siguientes:

**Nivel de servicio A:** representa la circulación a flujo libre. En este nivel se posee libertad para circular a la velocidad deseada y permitida y, además, se cuenta con libertad para realizar maniobras y cambios de carril dentro del tránsito. A su vez es el que cuenta con mayor comodidad para la circulación de vehículos.

**Nivel de servicio B:** este nivel de servicio todavía se encuentra dentro del rango de flujo libre, la circulación a la velocidad deseada no se ve afectada; sin embargo, la libertad de maniobra disminuye.

**Nivel de servicio C:** pertenece al rango de flujo estable. La circulación a la velocidad deseada se ve afectada por la presencia de otros usuarios y la libertad de maniobra comienza a ser restringida.

**Nivel de servicio D:** este nivel representa un tránsito de vehículos de alta densidad, pero estable. La velocidad y la libertad de maniobra quedan restringidas y el usuario tiene condiciones bajas de comodidad y convivencia.

**Nivel de servicio E:** en este nivel el funcionamiento está cercano al límite de su capacidad, la velocidad de todo el flujo se ve limitada y se vuelve uniforme, la libertad para maniobrar es muy reducida.

**Nivel de servicio F:** representa condiciones de flujo forzado y se produce cuando la cantidad de tránsito excede la capacidad de la vía.

Seguidamente, en la siguiente figura se muestra gráficamente la diferencia entre los distintos niveles de servicio que propone el manual HCM 2010:

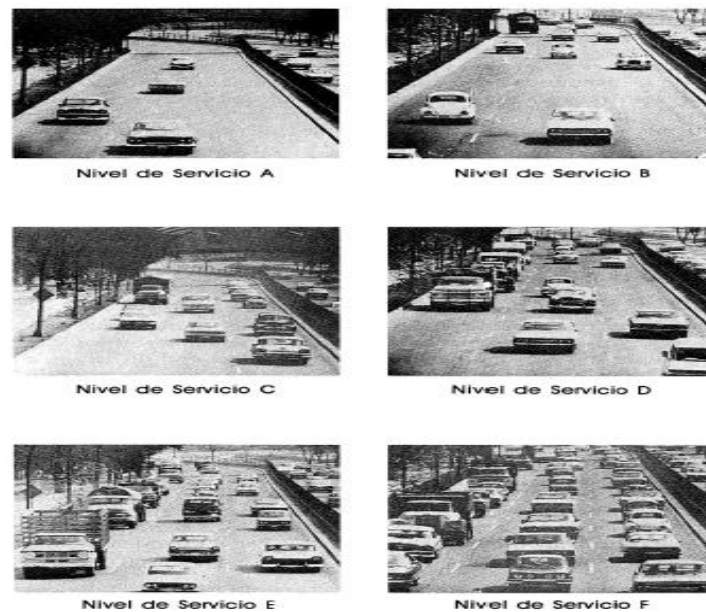


Figura 3. Niveles de servicio para tramos de carretera

Fuente: Cal y Mayor. Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones

En la siguiente tabla se detallan los tiempos de demora promedio permitidos en cada nivel de servicio propuesto por el manual HCM 2010:

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA PROMEDIO (S/VEH)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

Tabla 1. Movimiento vehicular y peatonal en intersecciones de cuatro accesos y tipo “t”

Fuente: Highway Capacity Manual, 2010

## 1.20 Movimientos y enumeración de fases en intersecciones controladas por alto y ceda

A continuación, se ilustran los movimientos vehiculares y peatonales en intersecciones de cuatro accesos y en intersecciones tipo “t”. Se muestran tres movimientos de tráfico vehicular y un movimiento de tráfico peatonal para cada uno de los accesos. Para facilitar el análisis, el Transportation Research Board se ha encargado de asignar a cada movimiento mostrado un único número o una serie de números y letras para así poder identificar de una manera más eficaz cada movimiento.

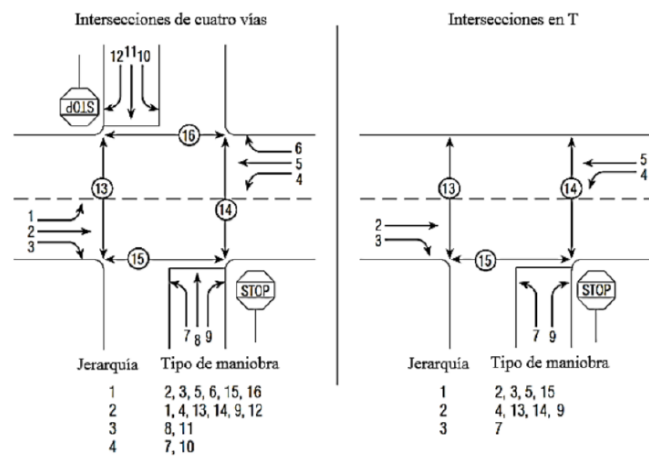


Figura 4. Movimiento vehicular y peatonal en intersecciones de cuatro accesos y tipo “t”

Fuente: Highway Capacity Manual, 2010

## 1.21 Teoría de Colas

La teoría de colas utiliza una serie de algoritmos matemáticos para determinar los procesos que resultan en la formación de colas y de esta forma analizar de forma detallada los efectos de las colas, pueden usarse para establecer la probabilidad de que una llegada sufra un atraso, el tiempo esperado para todas las llegadas, el tiempo esperado de aguardar una llegada de espera.

Una cola se genera cuando los arribos están a la espera de un servicio o una oportunidad, ya sea la llegada de una brecha aceptada en un flujo principal de tránsito, el cobro de cuotas en una caseta de cobro o de la tarifa de estacionamiento en un garaje de estacionamiento, etc. El servicio puede ofrecerse ya sea para un solo carril o para varios carriles. El análisis apropiado de los efectos de una cola de este tipo puede desarrollarse solo si la cola está plenamente especificada. Esto requiere que cuente con la presencia de las siguientes características:

- ✓ La distribución de los carriles, es decir, si los carriles son individuales o múltiples y, en caso de carriles múltiples, si son en serie o en paralelo.
- ✓ La distribución de los tipos de servicio.
- ✓ El método de servicio, tal como se atiende al primero que llega, aleatorio y prioritario.
- ✓ La longitud de la cola, es decir, si es finita o infinita.



Figura 5. Colas presentes en el puente Juan Pablo II

Fuente: [www.rutaalterna.org](http://www.rutaalterna.org)

## **1.22 Variación en la demanda**

El Transportation Research Board afirma que el volumen de tráfico que se presenta en un día y en un lugar específico no representa necesariamente el reflejo de la cantidad de tránsito que puede contarse en otro día o el que podría contarse si un cuello de botella se remueve. La demanda de tráfico es un parámetro que está en constante cambio, puesto que puede variar según el momento del día y entre los días de la semana; lo anterior, principalmente, ya que, los planes de viaje y el número de viajeros no datos constantes.

## **1.23 Hora Pico**

El Transportation Research Board determina que la capacidad y análisis del tráfico se enfocan principalmente en la hora pico, ya que representa el periodo más crítico para las operaciones con el requerimiento de capacidad más alto. Sin embargo, es importante recalcar que el volumen de la hora pico no es valor constante puesto que puede variar según el día o temporada.

En el manual HCM 2010, la constante  $K$  es utilizada para representar la proporción del promedio anual de tráfico diario (Annual average daily traffic, AADT), usualmente el valor de la constante  $K$  para calles urbanas y rurales oscila entre 0.09 y 0.10. Y para secciones de carreteras donde el volumen vehicular es muy variable durante la hora pico, el valor de la constante  $K$  podría exceder el 0.10; sin embargo, de manera conservadora es preferible utilizar 0.09.

El flujo vehicular no representa un valor constante puesto que se mantiene en un constante cambio y puede tener ciertas variaciones en cortos periodos de tiempo. El siguiente gráfico demuestra la fluctuación en el flujo vehicular en un periodo de una hora con intervalos de cinco minutos.



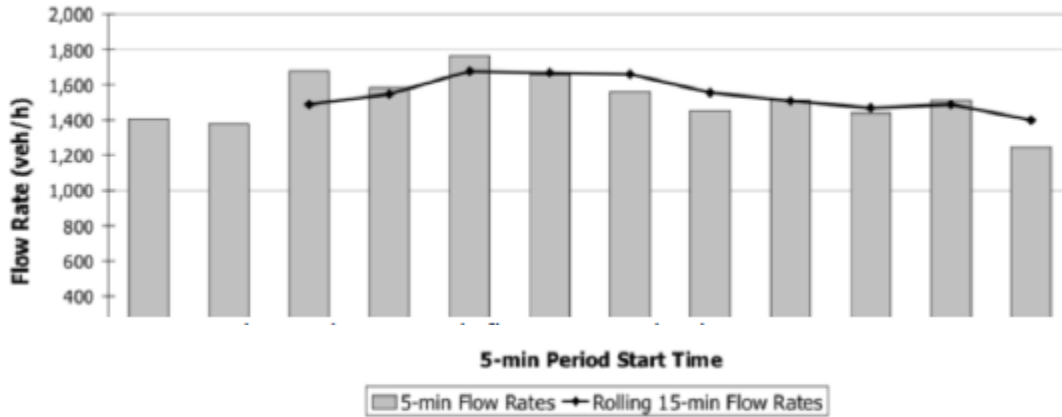


Figura 6. Tasa de flujo en intervalos de 5 minutos

Fuente: Highway Capacity Manual, 2010

El HCM utiliza el factor hora pico (FHP) para convertir los volúmenes de una hora en picos de flujo de 15 minutos, el cual se conoce como hora pico o la hora de máxima demanda, este puede utilizarse para cualquier tipo de análisis de una hora, ya sea, dentro de la hora pico o no.

### 1.24 Software Synchro 8

El software Synchro es utilizado en procesos de análisis, evaluación y optimización de las redes viales, el mismo utiliza los estándares del Manual HCM y ofrece grandes ventajas que se describen a continuación:

- ✓ Simulación de las condiciones de tráfico existentes en una red vial, contando con una variedad de parámetros ligados a un reporte gráfico que deja valorar directamente qué tan aproximados son los datos de campo.
- ✓ Importación de la cartografía a escala de la zona de estudio, que ayuda como si fuese un mapa de fondo, de forma que permite al usuario la determinación de las distancias y la configuración de las redes y subredes.
- ✓ Optimización de longitudes de ciclo y repartos de tiempos de verde por fase, eliminando la necesidad de hacer varios ensayos de planes y de tiempos, tratando de encontrar la mejor solución.

- ✓ Generación de planes de tiempo óptimos en menos tiempo que cualquier otro programa de cómputo.
- ✓ Interacción, cuando se manipulan los datos de entrada el sistema actualiza los datos y resultados de forma automática, muestra diagramas de tiempo y espacio de los planos de operación.
- ✓ Aplicación de redes de hasta 300 intersecciones con mucho éxito, por lo que es capaz de desagregar redes mayores para luego unir las.

### **1.25 Determinación de los volúmenes opuestos (VP,)**

Se puede definir volumen opuesto como el flujo opuesto o conflictivo al efectuar una maniobra “x”. En los movimientos de alta prioridad se deben utilizar algunos de los espacios mostrados por los movimientos de menor prioridad. Seguidamente se detallan los derechos de parada y paso:

- Los movimientos de prioridad 1 deben tener libre derecho de paso frente a movimientos de prioridad 2, 3 y 4.
- Los movimientos de prioridad 2 deben ceder el paso ante los de prioridad 1 y tener libre paso frente a movimientos de prioridad 3 y 4.
- Los movimientos de prioridad 3 deben ceder el paso frente a los de prioridad 1 y 2, sin embargo, poseen libre paso frente a los de prioridad 4.
- Los movimientos de prioridad 4 deben ceder el paso frente a los movimientos de prioridad 1, 2 y 3.

### **1.26 Intervalo crítico y de seguimiento**

El intervalo crítico corresponde aquel tiempo mínimo que existe entre dos vehículos del flujo principal para poder atravesar dicho flujo mencionado, dicho intervalo para un movimiento determinado es definido como el intervalo mínimo promedio aceptado que permite la entrada a la intersección para un vehículo de la calle secundaria o giro a la izquierda desde la calle principal.

El intervalo de seguimiento es aquel tiempo mínimo promedio aceptado entre la salida de un vehículo de la calle secundaria y la salida de un segundo vehículo, usando el mismo intervalo, con la característica de que es calculado solamente bajo condiciones de flujo de cola continuo.

En la tabla siguiente se muestran los valores de los intervalos anteriormente citados:

Intervalo Crítico y seguimiento (s/veh)				
Intervalo	Giro izquierdo primario	Giro izquierdo secundario	Directo secundario	Derecho secundario
Crítico (tcx)	4.1	5.5	5.2	4.5
Seguimiento (tfx)	2.1	3.4	3.2	2.6

Tabla 2. Intervalos críticos y de seguimiento utilizados en Costa Rica

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

## 1.27 Capacidad potencial

Corresponde a la capacidad ideal para realizar una maniobra específica, la cual asume que todos los espacios disponibles son usados por los movimientos vehiculares que se encuentran en la zona, a su vez, es estimada usando modelos de espacio aceptado.

## 1.28 Capacidad para un movimiento

En esta sección los flujos de tráfico con prioridad 1 y 2 son asumidos como libres de retraso o impedimento producido por algún movimiento de los flujos de calle secundaria, por ende, esto implica que los flujos de calle principal no deben presentar altas demoras, por la razón de que cuentan con esta prioridad de paso frente a movimientos de categorías 3 y 4.

### **1.29 Probabilidad de No cola en acceso principal**

Ahora bien, la capacidad de movimiento de cada flujo de tráfico de prioridad 3 se ve afectada por la magnitud de restricciones devenidas por los flujos de prioridad 1 y 2, por ende, provocando que todos los movimientos de prioridad 3 tengan que esperar para aceptar un intervalo de igual magnitud que los movimientos de prioridad 2.

### **1.30 Factor de ajuste de Capacidad**

Para movimientos de prioridad 3 debe calcularse un factor de ajuste de capacidad,  $f_k$ , que contempla el efecto de reducción de capacidad debido a los movimientos de prioridad alta.

### **1.31 Ajuste de capacidad por carril compartido**

Esta acción se da cuando, en dos o más movimientos comparten el mismo carril y no pueden detenerse a un lado de la línea de parada, por ende, es necesario juntar algunos movimientos y reajustar a las nuevas condiciones.

### **1.32 Demora**

La demora total consiste en la diferencia entre el tiempo de viaje actual experimentado y el tiempo de viaje referencial que resultaría de las condiciones de base, sin ningún tipo de accidente, control de tráfico, congestión vehicular, entre otros.

## CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1 Paradigma de la investigación

Actualmente las personas requieren un sistema de transporte que se logre adaptar a todas las necesidades de la sociedad y que logre garantizar un adecuado desplazamiento de la población de una manera eficiente, eficaz y segura pero que a su vez vaya de la mano con las nuevas normas y leyes ambientales. Por ende, desde este punto de vista, un sistema de transportes eficiente y eficaz es de suma importancia para la sociedad tanto para la calidad de vida como para su economía.

Asimismo, por dicho motivo en la actualidad existen diferentes metodologías como la HCM-2010, la cual brinda a los ingenieros una serie de pasos de suma importancia para la planificación de estos sistemas de transportes ya que, este tipo de manual tienen como objetivo principal que el transporte de las personas llegue a ser lo más fluido y eficiente posible.

### 2.2 Enfoque Metodológico

A lo largo de la historia, se han desarrollado dos tipos de enfoques de investigación los cuales son el enfoque cualitativo, y el cuantitativo. En la presente investigación el enfoque cuantitativo es el que se encuentra presente.

#### 2.2.1 Enfoque cuantitativo

Este tipo de enfoque se define como:

*Método que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías, además señalan que este enfoque es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase y parte de una idea, que va acotándose y, una delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolló un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos*

*estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de las hipótesis (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.55)*

La presente investigación se acopla perfectamente a un enfoque cuantitativo, ya que lo que se busca lograr con este proyecto es realizar la validación de la metodología del manual HCM 2010, utilizada para realizar el análisis de capacidad de tres intersecciones controladas por alto y ceda ubicadas en Barva de Heredia.

### **2.3 Métodos de investigación propuestos**

Los Métodos de Investigación corresponden al camino por seguir en donde, a través de una construcción teórica se guía al investigador a conseguir determinados objetivos en un tiempo determinado, con actividades detalladas; para así conseguir los resultados esperados. En otras palabras, debe ser la estructura y la guía a seguir en la investigación, con el fin de encontrar resultados que sean confiables y que ayuden a responder las interrogantes presentes.

Tomando en cuenta la naturaleza y características de la investigación por desarrollar, se puede determinar que se encuentra dentro de un método investigativo no experimental, en donde corresponde aquel diseño de estudio que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para analizarlos con posterioridad. En este tipo de investigación no hay condiciones ni estímulos a los cuales se expongan los sujetos del estudio. Los sujetos son observados en su ambiente natural (Hernández, 2004).

La presente investigación tiene carácter no experimental ya que, se observan las cosas tales y como son respecto a la realidad, por ello, no posee las características o rasgos de una investigación experimental, ya que básicamente no se manejan variables, y a su vez no se está alterando el objeto de la investigación.

A su vez específicamente se trata de un método transversal, el cual se define como:

*(...) recolectan los datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Este tipo de investigaciones es como una fotografía en un momento dado del problema*

*que se está estudiando y puede ser: descriptiva o de correlación, según el problema en estudio (Cortés, 2004).*

Los instrumentos presentes a lo largo de la investigación se valoran una sola vez básicamente, a pesar del tiempo en que se aplique, los datos recolectados para el presente proyecto son analizados conforme sea necesario, en su momento oportuno, independientemente del tiempo en que se vaya a aplicar.

Asimismo, también está presente el trabajo de campo la cual exige salir a recabar los datos, sus fuentes pueden ser la naturaleza o la sociedad, pero, en ambos casos, es necesario buscar de su objeto para poder obtener la información que se necesita. La recolección de la información se llevará a cabo en su entorno natural sin ningún tipo de manipulación o modificación, el proyecto de investigación se realizará directamente con la raíz del problema.

En la presente investigación se realizará un proceso directo de observación y cuantificación, de absolutamente todos los vehículos con previa excepción de las motocicletas que transiten por las tres intersecciones ubicadas en Barva de Heredia, las cuales son controladas por alto y ceda, por ende, se procederá analizar los resultados de dicha observación directa contra los datos obtenidos en las mediciones de campo con los resultados que se extraigan al modelar dichas intersecciones con el software SYNCHRO 8, así como con los resultados obtenidos al utilizar la metodología del manual HCM 2010.

## **2.4 Categorías de análisis de la investigación**

### **2.4.1 Operacionalización de variables**

En este punto se da a conocer las distintas variables existentes, como variables independientes se tienen lo que es la cantidad de vehículos principalmente, la longitud de cola y el tiempo de demora, a su vez como una única variable dependiente se tiene lo que es el nivel de servicio.

## **2.5 Población**

Para esta investigación la población estará dirigida a todas las intersecciones ubicadas en el cuadrante central de Barva de Heredia, las cuales corresponden a:

1. Intersección entre la calle 2 (ruta nacional 119) y la Avenida 2
2. Intersección entre la Avenida 2 y la calle central (ruta nacional 126)
3. Intersección entre la calle central y la Avenida central

## **2.6 Muestra**

En el presente proyecto de investigación, la muestra por utilizar está formada por tres intersecciones mencionadas anteriormente, las cuales están controladas por alto y ceda, ubicadas en el cuadrante central de Barva de Heredia. Las mismas, son las siguientes:

1. Intersección entre la calle 2 (ruta nacional 119) y la Avenida 2
2. Intersección entre la Avenida 2 y la calle central (ruta nacional 126)
3. Intersección entre la calle central y la Avenida central

Las mismas fueron seleccionadas porque cuentan con un enorme flujo vehicular al ser intersecciones que conectan diversos cantones y distritos ubicados alrededor de ellas debido a que son intersecciones de rutas nacionales, también por la presencia de colas y altas demoras que se han observado en los recorridos pertinentes.

## **2.7 Muestreo**

De este modo el tipo de muestreo con el cual se realizará esta investigación será del tipo no probabilístico, ya que está relacionado con el criterio de quien realiza la investigación, se estudia lugares en específico y no al azar, y además los resultados son puntuales de acuerdo con la zona en estudio.



## 2.8 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Aforador	Fecha:	Movimiento	Nombre intersección	Aforador	Fecha	Movimiento	Nombre intersección
Hora	Pesados		Livianos	Hora	Pesados		Livianos
6:30-6:45				6:30-6:45			
6:45-7:00				6:45-7:00			
7:00-7:15				7:00-7:15			
7:15-7:45				7:15-7:45			
7:45-8:00				7:45-8:00			
8:00-8:30				8:00-8:30			

Tabla 3. Plantilla utilizada para la recolección de datos de campo (am)

Fuente: Formulario de elaboración propia.

### 2.8.1 Metodología del manual HCM 2010

Seguidamente se describirán cada una de las variables que intervienen en la metodología de análisis, las cuales serán mencionadas junto con su correspondiente fórmula de la siguiente manera:

### 2.8.2 Factor de Hora pico (FHP)

El factor hora pico se calcula de la siguiente manera:

$$FHP = \frac{\text{Volumen por una hora}}{\text{Flujo pico (en una hora)}}$$

Sin embargo, cuando se utilizan periodos de 15 minutos el cálculo del factor de hora pico se calculará con la fórmula:

$$FHP = \frac{V}{4 * V(15)}$$

Donde:

PHF=Factor hora pico

V= Volumen en una hora (veh/h)

V (15) = Volumen pico (máximo) de 15 minutos (veh/15 min)

Al utilizar periodos de 5 minutos el cálculo del factor de hora pico se calculará con la fórmula:

$$FHP = \frac{V}{12 * V(15)}$$

### **2.8.3 Determinación de los volúmenes opuestos (VP,)**

Cabe destacar que dependiendo de la maniobra que se realice la fórmula de volúmenes opuestos se adapta, sin embargo, en esta investigación, el volumen opuesto ( $V_{P,x}$ ) para la maniobra 5 en la intersección 3 se calcula de la siguiente manera:

$$V_{c, 5} = 2V_7 + V_8$$

### **2.8.4 Capacidad potencial**

La capacidad potencial para “x” movimiento se puede calcular de la siguiente manera

$$C_{p,x} = V_{c,x} * \left[ \frac{e^{-\left(\frac{V_{c,x} * t_{cx}}{3600}\right)}}{1 - e^{-\left(\frac{V_{c,x} * t_{cx}}{3600}\right)}} \right]$$

Donde:

$C_{p,x}$  = Capacidad potencial del movimiento “x” (veh/h).

$V_{c,x}$  = Volumen opuesto para una maniobra “x” (veh/h).

$t_{cx}$  = Intervalo crítico (s).

$t_{fx}$  = Intervalo de seguimiento (s).

## 2.8.4 Capacidad para un movimiento

$$C_{m,j} = C_{p,j}$$

Donde:

$C_{m,j}$  = Capacidad de un movimiento “x” (veh/h).

$C_{p,j}$  = Capacidad potencial de un movimiento “x” (veh/h).

## 2.8.5 Probabilidad de No cola en acceso principal

Ante esta situación, la probabilidad de que no exista cola en el acceso principal se expresa de la siguiente forma:

$$P_{o,j} = 1 - \left( \frac{V_j}{C_{m,j}} \right)$$

Donde:

$P_{o,j}$  = Probabilidad de no cola en el acceso principal.

$V_j$  = Volumen máximo de prioridad 2 desde el acceso principal (veh/h).

$C_{m,j}$  = Capacidad de un movimiento “x” (veh/h).

### 2.8.5 Factor de ajuste de Capacidad

$$f_k = I_j P_{0,j}$$

$f_k$  = Factor de ajuste de capacidad para movimientos de prioridad 3

### 2.8.6 Capacidad de movimiento de prioridad 3

La capacidad de los movimientos de prioridad 3 se denota de la siguiente manera:

$$C_{m,k} = C_{p,k} * f_k$$

Donde:

$C_{m,k}$  = Capacidad de un movimiento de prioridad 3 (veh/h).

$C_{p,k}$  = Capacidad potencial de un movimiento de prioridad 3 (veh/h).

$f_k$  = Factor de ajuste de capacidad para movimientos de prioridad 3

### 2.8.7 Ajuste de capacidad por carril compartido

Para calcular esta capacidad reajustada de carriles compartidos se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{SH} = \frac{\sum V_y}{\sum \left( \frac{V_y}{C_{m,y}} \right)}$$

Donde:

$C_{sh}$  = Ajuste de capacidad debido a carril compartido (veh/h).

$V_y$  = Radio de flujo, movimiento “y” compartiendo carril con otros movimientos.

$C_{m,y}$  = Capacidad de movimiento “y” compartiendo carril con otros movimientos.

### 2.8.8 Cálculo P”

Se aplica la siguiente fórmula para determinar el valor de P'':

$$P'' = P_{0,j} * P_{0,k}$$

Donde:

P<sub>0, j</sub> = Probabilidad de no cola en movimiento de prioridad 2(vía principal)

P<sub>0, k</sub> = Probabilidad de no cola en movimiento de prioridad 2(vía secundaria)

### **2.8.9 Cálculo P'**

Se aplica la siguiente fórmula para determinar el valor de P':

$$P' = 0.65 * P'' - \frac{P''}{P'' + 3} + 0.6\sqrt{P''}$$

### **2.8.10 Factor de ajuste de capacidad para movimientos de prioridad 4**

El factor de ajuste de capacidad para un movimiento de prioridad 4 se determina de la siguiente manera:

$$F_l = (P' * P_{0,j})$$

Donde:

F<sub>l</sub> = Factor de ajuste de capacidad para movimientos de prioridad 4

P<sub>0, j</sub> = Probabilidad de no cola en movimiento de prioridad 2(vía principal)

### **2.8.11 Capacidad para un movimiento de prioridad 4**

La capacidad para un movimiento de prioridad 4 se determina de la siguiente forma:

$$C_{m,j} = F_l * C_{p,l}$$

### 2.8.12 Demora

La siguiente operación muestra la demora de la siguiente manera:

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

Donde:

d = Demora controlada (s/veh).

V<sub>x</sub> = Tasa de flujo para un movimiento “x” (veh/h).

C<sub>m, x</sub> = Capacidad de un movimiento “x” (veh/h).

T = Periodo de tiempo de análisis.

### 2.8.13 Longitud de cola

En este caso la longitud de cola se determina de la siguiente forma:

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

Donde:

Q<sub>95</sub>. = longitud de cola al percentil 95 (veh).

V<sub>x</sub> = Tasa de flujo para un movimiento “x” (veh/h).

C<sub>m, x</sub> = Capacidad de un movimiento “x” (veh/h).

T = Periodo de tiempo de análisis.

A su vez se dividirá en diferentes categorías, en donde se van a presentar los vehículos livianos, los vehículos pesados y lo que son los autobuses. Por su parte los cálculos hechos estarán basados en la metodología descrita en el manual HCM 2010, en cuanto a la documentación de los datos de campos se aplicará la siguiente plantilla, en la cual se indica el nombre de la persona que realiza el conteo, se indica a su vez el tipo de maniobra, la fecha, y el horario, ya sea matutino o vespertino.

#### **2.8.14 Aforo Vehicular**

Para el aforo vehicular es necesario contar con un total de tres personas por cada intersección, a su vez, es importante recalcar que el aforador está en toda la obligación de documentar cada vehículo que transite por las intersecciones sujetas a estudio, dependiendo del movimiento que le corresponda documentar y en el intervalo de tiempo designado.

Se debe contar con un coordinador para el grupo, el cual se encargará de coordinar el proceso de aforo vehicular y a su vez, la asignación de los movimientos vehiculares de la intersección a cada persona involucrada durante el proceso, también, debe explicar el proceso con detalle a los participantes, y será la persona encargada de llevar el tiempo de los intervalos, además, estará pendiente de medir la longitud de cola en caso de que se forme alguna.

Ahora bien, para este proceso de aforo vehicular se tomarán en cuenta los vehículos livianos, los vehículos pesados y los autobuses de forma separada e independiente y a su vez, en periodos o intervalos que constarán de 15 minutos. Es importante resaltar que en el eventual caso de presentarse una colisión y se vea interrumpido el flujo vehicular durante el proceso de aforo de vehículos, este suceso tendrá como consecuencia el resultado la suspensión del aforo y se presentará la necesidad de repetir el conteo en un día diferente.

#### **2.8.15 Medición de cola**

Durante la duración del proceso de aforo vehicular se documentarán las longitudes de las colas o filas vehiculares acumuladas en la intersección y la distancia alcanzada, donde

se realizarán medidas desde la señal de alto hasta el último vehículo que se encuentre en el flujo vehicular de la intersección.

Para realizar el proceso de medición de la longitud de cola se cuenta con una cinta métrica de 50 metros y se realizará la medición de la distancia a lo largo de la intersección. A su vez, se colocarán marcas cada 10 metros hasta llegar a 130 metros o más, de ser necesario, para así identificar las distancias de la cola de una manera mucho más sencilla y rápida.

### **2.8.16 Medición de demoras**

En esta sección se procederá a documentar aquel tiempo que tarda un vehículo en cruzar la intersección, se realizará de la siguiente manera: se identificará el vehículo por sus características físicas, como el número de placa, su marca, color y se cronometrará el tiempo desde que el vehículo ingresa al flujo vehicular y se convierte en parte de la cola de la intersección hasta el momento que realiza el giro correspondiente abandonando la intersección. Este corresponderá al tiempo en que el vehículo tardó en atravesar y abandonar la intersección.

Una vez finalizado el aforo vehicular, se procede a calcular el promedio de los tiempos cronometrados anteriormente para así obtener el valor de la demora promedio en unidades de segundos entre vehículo, es decir, (s/veh).

### **2.8.17 Documentación de datos**

Para una correcta documentación y análisis de los datos recolectados en el campo, se utilizarán las plantillas de aforo, las cuales estarán debidamente señaladas con la fecha y con el nombre correcto de la intersección, así como también con el nombre del aforador responsable del conteo.

Posteriormente, los datos obtenidos se tabularán en hojas de Excel previamente programadas con las fórmulas del manual HCM para luego así, ingresar los datos obtenidos y procesarlos de la manera que corresponda. De igual manera los resultados finales obtenidos



deben ingresarse al programa Synchro 8, el cual corresponde básicamente a un programa que se encarga de generar una simulación del comportamiento de las intersecciones mencionadas.

## 2.9 Técnicas e instrumentos para el análisis y procesamiento de datos

### 2.9.1 Nivel de servicio

El proceso para determinar el nivel de servicio es la demora de control calculada por medio de la metodología HCM 2010, la cual se define para cada movimiento menor, pero que, no está definido para la intersección en estudio como un todo.

A continuación, se desglosan los criterios para asignar los niveles de servicio:

LOS	Demoras (seg/veh)	Descripción General
A	0-10	Velocidad de flujo libre en 90%
B	>10-15	Velocidad de flujo libre en 70%
C	>15-25	Velocidad de flujo libre en 50%
D	>25-35	Velocidad de flujo libre 40%
E	>35-50	Velocidad de flujo libre en 33%
F	>50	Flujo en la calle velocidades muy bajas

Tabla 4. Tiempos de Demora promedio, según el nivel de servicio

Fuente: Manual de Capacidad para carreteras HCM-2010

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Análisis de Datos

A continuación, se presentan las siguientes tablas en donde, se muestran los resultados obtenidos a los correspondientes aforos vehiculares realizados en las tres intersecciones sujetas a estudio, los mismos serán utilizados para desarrollar el procedimiento de cálculo descrito por el manual HCM 2010.

Datos del aforo jueves 09/05/19, Intersección 1, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 3			Movimiento 2		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	6	16	6:30-6:45	5	26
6:45-7:00	7	27	6:45-7:00	6	41
7:00-7:15	4	30	7:00-7:15	6	40
7:15-7:30	9	29	7:15-7:30	11	46
7:30-7:45	4	29	7:30-7:45	2	31
7:45-8:00	7	36	7:45-8:00	11	47
8:00-8:15	4	25	8:00-8:15	6	35
8:15-8:30	3	22	8:15-8:30	5	33
Movimientos 11			Movimiento 10		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	14	34	6:30-6:45	3	12
6:45-7:00	16	51	6:45-7:00	3	36
7:00-7:15	18	49	7:00-7:15	2	27
7:15-7:30	13	66	7:15-7:30	0	23
7:30-7:45	14	58	7:30-7:45	0	18
7:45-8:00	25	62	7:45-8:00	2	28
8:00-8:15	6	23	8:00-8:15	0	7
8:15-8:30	7	19	8:15-8:30	2	9

Tabla 5. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (a.m.) en la Intersección 1

Fuente: Propia

Datos del aforo jueves 09/05/19, Intersección 1, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 3			Movimiento 2		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	2	20	4:30-4:45	2	17
4:45-5:00	3	29	4:45-5:00	3	32
5:00-5:15	2	30	5:00-5:15	1	31
5:15-5:30	1	70	5:15-5:30	1	64
5:30-5:45	3	27	5:30-5:45	1	47
5:45-6:00	0	35	5:45-6:00	3	61
6:00-6:15	2	39	6:00-6:15	1	68
6:15-6:30	2	43	6:15-6:30	0	75
Movimientos 11			Movimiento 10		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	5	52	4:30-4:45	1	10
4:45-5:00	4	87	4:45-5:00	0	15
5:00-5:15	5	73	5:00-5:15	1	17
5:15-5:30	10	123	5:15-5:30	0	21
5:30-5:45	6	63	5:30-5:45	0	20
5:45-6:00	10	101	5:45-6:00	0	23
6:00-6:15	7	112	6:00-6:15	1	26
6:15-6:30	6	98	6:15-6:30	1	31

Tabla 6. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (p.m.) en la Intersección 1

Fuente: Propia

Datos del aforo jueves 09/05/19, Intersección 2, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 9			Movimiento 8		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	3	6:30-6:45	7	51
6:45-7:00	0	9	6:45-7:00	8	101
7:00-7:15	0	9	7:00-7:15	13	117
7:15-7:30	0	7	7:15-7:30	14	97
7:30-7:45	1	3	7:30-7:45	11	86
7:45-8:00	0	2	7:45-8:00	7	46
8:00-8:15	0	7	8:00-8:15	13	76
8:15-8:30	0	8	8:15-8:30	14	80
Movimientos 2			Movimiento 1		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	21	6:30-6:45	0	7
6:45-7:00	8	61	6:45-7:00	0	17
7:00-7:15	1	79	7:00-7:15	0	29
7:15-7:30	0	64	7:15-7:30	0	20
7:30-7:45	0	53	7:30-7:45	1	13
7:45-8:00	0	33	7:45-8:00	2	9
8:00-8:15	2	39	8:00-8:15	5	23
8:15-8:30	0	45	8:15-8:30	3	11

Tabla 7. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (a.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia

Datos del aforo jueves 09/05/19, Intersección 2, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 9			Movimiento 8		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	0	5	4:30-4:45	8	96
4:45-5:00	0	15	4:45-5:00	6	90
5:00-5:15	1	13	5:00-5:15	13	145
5:15-5:30	0	14	5:15-5:30	16	106
5:30-5:45	0	7	5:30-5:45	12	97
5:45-6:00	0	19	5:45-6:00	8	50
6:00-6:15	0	16	6:00-6:15	15	87
6:15-6:30	1	18	6:15-6:30	16	92
Movimientos 2			Movimiento 1		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	2	30	4:30-4:45	0	8
4:45-5:00	4	55	4:45-5:00	0	20
5:00-5:15	3	99	5:00-5:15	0	33
5:15-5:30	0	34	5:15-5:30	1	23
5:30-5:45	0	58	5:30-5:45	2	4
5:45-6:00	0	37	5:45-6:00	0	18
6:00-6:15	3	43	6:00-6:15	0	35
6:15-6:30	0	50	6:15-6:30	1	20

Tabla 8. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (p.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia

Datos del aforo jueves 09/05/19, Intersección 3, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 8			Movimiento 7		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	12	41	6:30-6:45	0	32
6:45-7:00	14	81	6:45-7:00	0	80
7:00-7:15	9	92	7:00-7:15	11	118
7:15-7:30	7	98	7:15-7:30	6	39
7:30-7:45	10	68	7:30-7:45	7	37
7:45-8:00	8	55	7:45-8:00	12	26
8:00-8:15	13	87	8:00-8:15	11	38
8:15-8:30	11	92	8:15-8:30	9	55
Movimientos 6			Movimiento 5		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	12	6:30-6:45	1	9
6:45-7:00	4	25	6:45-7:00	0	46
7:00-7:15	1	21	7:00-7:15	1	50
7:15-7:30	0	13	7:15-7:30	0	32
7:30-7:45	0	14	7:30-7:45	2	21
7:45-8:00	0	10	7:45-8:00	3	22
8:00-8:15	3	15	8:00-8:15	2	28
8:15-8:30	0	12	8:15-8:30	1	27

Tabla 9. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (a.m.) en la Intersección 3

Fuente: Propia

Datos del aforo jueves 09/05/19, Intersección 3, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 8			Movimiento 7		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	14	47	4:30-4:45	0	37
4:45-5:00	16	93	4:45-5:00	0	92
5:00-5:15	11	105	5:00-5:15	13	135
5:15-5:30	8	112	5:15-5:30	7	45
5:30-5:45	5	61	5:30-5:45	2	31
5:45-6:00	3	98	5:45-6:00	2	37
6:00-6:15	4	130	6:00-6:15	3	99
6:15-6:30	7	114	6:15-6:30	3	57
Movimientos 6			Movimiento 5		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	0	4	4:30-4:45	1	8
4:45-5:00	0	16	4:45-5:00	0	32
5:00-5:15	1	21	5:00-5:15	2	44
5:15-5:30	0	17	5:15-5:30	0	39
5:30-5:45	0	15	5:30-5:45	2	24
5:45-6:00	0	11	5:45-6:00	3	26
6:00-6:15	3	17	6:00-6:15	2	31
6:15-6:30	0	14	6:15-6:30	1	29

Tabla 10. Datos del aforo vehicular jueves 09/05/19 (p.m.) en la Intersección 3

Fuente: Propia

Datos del aforo viernes 10/05/19, Intersección 1, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 3			Movimiento 2		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	2	23	6:30-6:45	4	36
6:45-7:00	3	19	6:45-7:00	5	42
7:00-7:15	6	39	7:00-7:15	8	58
7:15-7:30	9	21	7:15-7:30	2	48
7:30-7:45	10	32	7:30-7:45	7	35
7:45-8:00	7	25	7:45-8:00	5	40
8:00-8:15	5	16	8:00-8:15	5	27
8:15-8:30	8	14	8:15-8:30	6	32
Movimientos 11			Movimiento 10		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	12	100	6:30-6:45	2	14
6:45-7:00	12	80	6:45-7:00	1	17
7:00-7:15	14	121	7:00-7:15	1	31
7:15-7:30	22	139	7:15-7:30	1	25
7:30-7:45	17	119	7:30-7:45	0	27
7:45-8:00	9	89	7:45-8:00	0	17
8:00-8:15	8	39	8:00-8:15	2	13
8:15-8:30	6	45	8:15-8:30	1	15

Tabla 11. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (a.m.) en la Intersección 1

Fuente: Propia



Datos del aforo viernes 10/05/19, Intersección 1, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 3			Movimiento 2		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	2	22	4:30-4:45	5	19
4:45-5:00	4	32	4:45-5:00	7	35
5:00-5:15	7	33	5:00-5:15	9	34
5:15-5:30	10	77	5:15-5:30	2	70
5:30-5:45	3	37	5:30-5:45	1	41
5:45-6:00	0	29	5:45-6:00	3	46
6:00-6:15	2	19	6:00-6:15	1	31
6:15-6:30	2	16	6:15-6:30	0	37
Movimientos 11			Movimiento 10		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	14	57	4:30-4:45	3	11
4:45-5:00	14	96	4:45-5:00	1	17
5:00-5:15	16	80	5:00-5:15	1	19
5:15-5:30	25	135	5:15-5:30	1	23
5:30-5:45	7	137	5:30-5:45	0	31
5:45-6:00	11	102	5:45-6:00	0	20
6:00-6:15	8	45	6:00-6:15	2	15
6:15-6:30	7	52	6:15-6:30	1	17

Tabla 12. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (p.m.) en la Intersección 1

Fuente: Propia

Datos del aforo viernes 10/05/19, Intersección 2, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 9			Movimiento 8		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	7	6:30-6:45	7	84
6:45-7:00	2	10	6:45-7:00	5	83
7:00-7:15	0	9	7:00-7:15	11	136
7:15-7:30	0	8	7:15-7:30	14	93
7:30-7:45	0	2	7:30-7:45	4	49
7:45-8:00	0	8	7:45-8:00	14	86
8:00-8:15	0	6	8:00-8:15	7	74
8:15-8:30	0	5	8:15-8:30	6	79
Movimientos 2			Movimiento 1		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	2	41	6:30-6:45	0	14
6:45-7:00	2	56	6:45-7:00	1	16
7:00-7:15	3	59	7:00-7:15	2	22
7:15-7:30	2	60	7:15-7:30	0	29
7:30-7:45	2	23	7:30-7:45	1	12
7:45-8:00	1	69	7:45-8:00	0	20
8:00-8:15	1	33	8:00-8:15	2	11
8:15-8:30	2	29	8:15-8:30	0	15

Tabla 13. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (a.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia

Datos del aforo viernes 10/05/19, Intersección 2, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 9			Movimiento 8		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	0	8	4:30-4:45	10	110
4:45-5:00	2	11	4:45-5:00	7	104
5:00-5:15	0	10	5:00-5:15	15	167
5:15-5:30	0	9	5:15-5:30	18	122
5:30-5:45	0	8	5:30-5:45	5	54
5:45-6:00	0	22	5:45-6:00	15	95
6:00-6:15	1	18	6:00-6:15	8	81
6:15-6:30	1	21	6:15-6:30	7	87
Movimientos 2			Movimiento 1		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	2	33	4:30-4:45	0	15
4:45-5:00	5	61	4:45-5:00	1	17
5:00-5:15	3	109	5:00-5:15	2	24
5:15-5:30	0	38	5:15-5:30	0	31
5:30-5:45	2	25	5:30-5:45	3	15
5:45-6:00	1	76	5:45-6:00	0	21
6:00-6:15	1	36	6:00-6:15	0	41
6:15-6:30	2	32	6:15-6:30	1	23

Tabla 14. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (p.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia

Datos del aforo viernes 10/05/19, Intersección 3, 6:30 a.m-8:30 a.m.

Movimientos 8			Movimiento 7		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	20	67	6:30-6:45	9	35
6:45-7:00	19	95	6:45-7:00	8	29
7:00-7:15	23	95	7:00-7:15	10	49
7:15-7:30	13	135	7:15-7:30	10	42
7:30-7:45	16	112	7:30-7:45	12	45
7:45-8:00	15	84	7:45-8:00	8	66
8:00-8:15	19	80	8:00-8:15	7	33
8:15-8:30	5	46	8:15-8:30	15	10
Movimientos 6			Movimiento 5		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	33	6:30-6:45	1	22
6:45-7:00	1	22	6:45-7:00	0	14
7:00-7:15	2	46	7:00-7:15	0	31
7:15-7:30	0	31	7:15-7:30	0	19
7:30-7:45	0	30	7:30-7:45	3	18
7:45-8:00	1	53	7:45-8:00	1	35
8:00-8:15	1	40	8:00-8:15	0	27
8:15-8:30	0	25	8:15-8:30	0	2

Tabla 15. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (a.m.) en la Intersección 3

Fuente: Propia

Datos del aforo viernes 10/05/19, Intersección 2, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 8			Movimiento 7		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	6	51	4:30-4:45	0	26
4:45-5:00	13	82	4:45-5:00	8	31
5:00-5:15	12	112	5:00-5:15	5	83
5:15-5:30	2	126	5:15-5:30	3	47
5:30-5:45	5	58	5:30-5:45	2	29
5:45-6:00	3	94	5:45-6:00	1	35
6:00-6:15	4	123	6:00-6:15	2	95
6:15-6:30	6	109	6:15-6:30	3	54
Movimientos 6			Movimiento 5		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	0	3	4:30-4:45	1	7
4:45-5:00	0	16	4:45-5:00	0	31
5:00-5:15	1	20	5:00-5:15	1	42
5:15-5:30	0	16	5:15-5:30	0	37
5:30-5:45	0	5	5:30-5:45	2	8
5:45-6:00	0	18	5:45-6:00	0	35
6:00-6:15	1	23	6:00-6:15	1	48
6:15-6:30	0	18	6:15-6:30	0	42

Tabla 16. Datos del aforo vehicular viernes 10/05/19 (p.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia

Datos del aforo lunes 13/05/19, Intersección 1, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 3			Movimiento 2		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	3	53	6:30-6:45	2	73
6:45-7:00	2	28	6:45-7:00	1	27
7:00-7:15	4	75	7:00-7:15	3	104
7:15-7:30	6	39	7:15-7:30	1	38
7:30-7:45	5	48	7:30-7:45	3	54
7:45-8:00	6	53	7:45-8:00	1	46
8:00-8:15	2	28	8:00-8:15	0	47
8:15-8:30	4	33	8:15-8:30	2	35
Movimientos 11			Movimiento 10		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	5	154	6:30-6:45	1	43
6:45-7:00	4	73	6:45-7:00	0	19
7:00-7:15	15	219	7:00-7:15	0	61
7:15-7:30	8	104	7:15-7:30	0	27
7:30-7:45	10	130	7:30-7:45	0	31
7:45-8:00	13	96	7:45-8:00	1	22
8:00-8:15	6	80	8:00-8:15	0	23
8:15-8:30	10	25	8:15-8:30	0	25

Tabla 17. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (a.m.) en la Intersección 1

Fuente: Propia

Datos del aforo lunes 13/05/19, Intersección 2, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 3			Movimiento 2		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	2	25	4:30-4:45	6	30
4:45-5:00	5	36	4:45-5:00	8	47
5:00-5:15	7	38	5:00-5:15	5	48
5:15-5:30	11	85	5:15-5:30	9	53
5:30-5:45	5	34	5:30-5:45	2	45
5:45-6:00	8	43	5:45-6:00	4	52
6:00-6:15	5	29	6:00-6:15	1	35
6:15-6:30	4	27	6:15-6:30	0	41
Movimientos 11			Movimiento 10		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	16	63	4:30-4:45	4	14
4:45-5:00	15	107	4:45-5:00	5	42
5:00-5:15	18	89	5:00-5:15	2	32
5:15-5:30	28	143	5:15-5:30	0	26
5:30-5:45	16	67	5:30-5:45	0	34
5:45-6:00	29	72	5:45-6:00	0	22
6:00-6:15	7	26	6:00-6:15	2	17
6:15-6:30	8	22	6:15-6:30	1	18

Tabla 18. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (p.m.) en la Intersección 1

Fuente: Propia

Datos del aforo lunes 13/05/19, Intersección 2, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 9			Movimiento 8		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	3	6:30-6:45	2	57
6:45-7:00	0	9	6:45-7:00	9	100
7:00-7:15	1	7	7:00-7:15	8	125
7:15-7:30	1	8	7:15-7:30	1	90
7:30-7:45	0	4	7:30-7:45	4	66
7:45-8:00	1	11	7:45-8:00	3	108
8:00-8:15	1	9	8:00-8:15	6	128
8:15-8:30	0	10	8:15-8:30	5	100
Movimientos 2			Movimiento 1		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	1	21	6:30-6:45	0	2
6:45-7:00	2	38	6:45-7:00	0	9
7:00-7:15	2	66	7:00-7:15	1	18
7:15-7:30	0	20	7:15-7:30	1	11
7:30-7:45	3	22	7:30-7:45	0	3
7:45-8:00	2	40	7:45-8:00	1	11
8:00-8:15	2	79	8:00-8:15	0	21
8:15-8:30	0	26	8:15-8:30	0	13

Tabla 19. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (a.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia



Datos del aforo lunes 11/05/19, Intersección 2, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 9			Movimiento 8		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	0	4	4:30-4:45	2	71
4:45-5:00	0	13	4:45-5:00	11	125
5:00-5:15	1	11	5:00-5:15	10	158
5:15-5:30	0	12	5:15-5:30	0	112
5:30-5:45	0	5	5:30-5:45	5	82
5:45-6:00	1	15	5:45-6:00	3	135
6:00-6:15	0	13	6:00-6:15	8	160
6:15-6:30	0	14	6:15-6:30	6	125
Movimientos 2			Movimiento 1		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	1	27	4:30-4:45	0	2
4:45-5:00	3	50	4:45-5:00	0	13
5:00-5:15	2	90	5:00-5:15	1	26
5:15-5:30	0	31	5:15-5:30	0	15
5:30-5:45	4	29	5:30-5:45	1	3
5:45-6:00	1	57	5:45-6:00	0	15
6:00-6:15	2	103	6:00-6:15	0	30
6:15-6:30	0	35	6:15-6:30	0	17

Tabla 20. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (p.m.) en la Intersección 2

Fuente: Propia

Datos del aforo lunes 13/05/19, Intersección 3, 6:30 a.m-8:30 a.m.					
Movimientos 8			Movimiento 7		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	5	50	6:30-6:45	3	27
6:45-7:00	6	65	6:45-7:00	3	30
7:00-7:15	11	200	7:00-7:15	5	56
7:15-7:30	4	98	7:15-7:30	4	42
7:30-7:45	6	35	7:30-7:45	5	37
7:45-8:00	5	32	7:45-8:00	3	25
8:00-8:15	7	57	8:00-8:15	2	23
8:15-8:30	2	78	8:15-8:30	5	42
Movimientos 6			Movimiento 5		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
6:30-6:45	0	17	6:30-6:45	1	34
6:45-7:00	0	18	6:45-7:00	1	25
7:00-7:15	2	21	7:00-7:15	0	40
7:15-7:30	0	15	7:15-7:30	0	16
7:30-7:45	0	10	7:30-7:45	0	22
7:45-8:00	1	10	7:45-8:00	1	10
8:00-8:15	0	3	8:00-8:15	0	8
8:15-8:30	0	10	8:15-8:30	1	20

Tabla 21. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (a.m.) en la Intersección 3

Fuente: Propia

Datos del aforo lunes 11/05/19, Intersección 3, 4:30 p.m-6:30 p.m.					
Movimientos 8			Movimiento 7		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	16	54	4:30-4:45	3	30
4:45-5:00	18	107	4:45-5:00	3	33
5:00-5:15	13	120	5:00-5:15	6	62
5:15-5:30	9	129	5:15-5:30	5	47
5:30-5:45	7	39	5:30-5:45	2	36
5:45-6:00	6	35	5:45-6:00	2	43
6:00-6:15	8	63	6:00-6:15	4	114
6:15-6:30	2	86	6:15-6:30	3	66
Movimientos 6			Movimiento 5		
Hora	Pesados	Livianos	Hora	Pesados	Livianos
4:30-4:45	0	5	4:30-4:45	1	38
4:45-5:00	0	19	4:45-5:00	1	28
5:00-5:15	1	24	5:00-5:15	0	44
5:15-5:30	0	20	5:15-5:30	0	18
5:30-5:45	0	11	5:30-5:45	2	28
5:45-6:00	1	12	5:45-6:00	4	30
6:00-6:15	1	5	6:00-6:15	2	35
6:15-6:30	0	11	6:15-6:30	1	33

Tabla 22. Datos del aforo vehicular lunes 13/05/19 (p.m.) en la Intersección 3

Fuente: Propia

## 3.2 Datos y resultados obtenidos

En este punto una vez que los resultados hayan sido digitados y ordenados, lo primero por hacer es calcular los siguientes parámetros: volumen horario de máxima demanda (VHMD), factor de hora pico, y el porcentaje de vehículos pesados en cada movimiento. Gracias a la obtención de estos resultados es posible continuar con el proceso de cálculo de los siguientes parámetros: volúmenes opuestos, capacidad de movimiento, capacidad potencial, además de los ajustes de capacidad requeridos en la presente investigación, y, por ende, determinar los niveles de servicio y compararlos contra los datos obtenidos en la investigación de campo y los resultados obtenidos del software Synchro 8.

### 3.2.1 Datos obtenidos el jueves 09 de mayo en horario matutino

En el siguiente apartado se muestra una imagen extraída del software Synchro 8, en donde se reflejan los volúmenes para cada movimiento, la configuración. Asimismo, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HCM 2010, a su vez, se muestra una imagen del programa Synchro 8, donde, se visualizan los siguientes resultados de acuerdo con los datos cargados: demora (control delay), nivel de servicio (Level of service), y longitud de cola (Queue Length).



Figura 7. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Jueves 09/05/19, Intersección 1 a.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
2	3	183	13,66%	0,80	228	589	726	677	7	13	C
3	2	139	17,27%	0,91	152	316	916	916	3	10	A
10	2	109	4,59%	0,80	136	0	2000	2000	0	0	A
11	1	285	21,40%	0,90	316	0	2000	2000	0	0	A

Tabla 23. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↓ ↑↑									↑↑		
Traffic Volume (vph)	0	183	139	0	0	0	0	0	0	109	285	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TW/TL Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, IC (s)	—	5.2	4.5	—	—	—	—	—	—	4.1	—	—
Follow Up Time, tF (s)	—	3.2	2.6	—	—	—	—	—	—	2.1	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	0.27	0.26	—	—	—	—	—	—	0.08	0.12	—
Control Delay (s)	—	12.6	10.6	—	—	—	—	—	—	0.6	1.5	—
Level of Service	—	B	B	—	—	—	—	—	—	A	A	—
Queue Length 95th (m)	—	8.6	8.4	—	—	—	—	—	—	2.1	2.1	—
Approach Delay (s)	—	11.8	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	2.3	—
Approach LOS	—	B	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 24. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Figura 8. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Jueves 09/05/19, Intersección 2 a.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
1	4	80	1,25%	0,80	64	538	687	687	2	10	B
2	3	266	3,38%	0,83	320	556	745	745	11	10	B
8	1	447	10,29%	0,86	520	0	1700	1700	0	0	A
9	1	29	3,45%	0,81	36	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 25. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	←			→			↖			↗		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	80	266	0	0	0	0	0	447	29	0	0	0
Traffic Volume (vph)	80	266	0	0	0	0	0	447	29	0	0	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	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)	5.5	5.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Follow Up Time, tF (s)	3.4	3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	0.29	0.33	—	—	—	—	0.20	0.12	—	—	—	—
Control Delay (s)	12.2	13.0	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—	—
Level of Service	B	B	—	—	—	—	A	A	—	—	—	—
Queue Length 95th (m)	9.7	11.7	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—	—
Approach Delay (s)	—	12.8	—	—	0.0	—	0.0	—	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	B	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 26. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Figura 9. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Jueves 09/05/19, Intersección 3 a.m.												
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Ajuste de capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
5	3	152	1,97%	0,80	190	1165	335	262	347	16	27	D
6	2	78	6,41%	0,80	97,5	420	949	949	347	6	19	C
7	2	298	8,05%	0,80	373	0	1700	1700	1700	0	0	A
8	1	379	10,55%	0,90	420	0	1700	1700	1700	0	0	A

Tabla 27. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	▼			↑↑			↑↑					
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	152	78	298	379	0	0	0	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	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)	—	—	—	—	5.2	4.5	4.1	—	—	—	—	—
Follow Up Time, tF (s)	—	—	—	—	3.2	2.6	2.1	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	—	—	—	0.48	0.33	0.22	0.22	—	—	—	—
Control Delay (s)	—	—	—	—	25.9	15.8	1.8	2.0	—	—	—	—
Level of Service	—	—	—	—	D	C	A	A	—	—	—	—
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	19.6	11.2	6.6	6.6	—	—	—	—
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	22.4	—	—	3.9	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	A	—	—	C	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 28. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

### 3.2.2 Datos obtenidos el jueves 09 de mayo en horario vespertino

En el siguiente apartado se muestra una imagen extraída del software Synchro 8, en donde se reflejan los volúmenes para cada movimiento, la configuración. Asimismo, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HCM 2010, a su vez, se muestra una imagen del programa Synchro 8, donde, se visualizan los siguientes resultados de acuerdo con los datos cargados: demora (control delay), nivel de servicio (Level of service), y longitud de cola (Queue Length).





Figura 10. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Jueves 09/05/19, Intersección 1 p.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
2	3	246	2,44%	0,89	276	760	637	601	12	16	C
3	2	177	3,39%	0,80	221,25	532	793	793	6	11	B
10	2	91	1,10%	0,80	114	0	2000	2000	0	0	A
11	1	432	7,64%	0,81	532	0	2000	2000	0	0	A

Tabla 29. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección

1, jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↕ ↕									↕ ↕		
Traffic Volume (vph)	0	246	177	0	0	0	0	0	0	91	432	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TwLTL Median	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, IC (s)	—	5.2	4.5	—	—	—	—	—	—	4.1	—	—
Follow Up Time, IF (s)	—	3.2	2.6	—	—	—	—	—	—	2.1	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	0.39	0.39	—	—	—	—	—	—	0.07	0.21	—
Control Delay (s)	—	15.5	12.4	—	—	—	—	—	—	0.5	1.1	—
Level of Service	—	C	B	—	—	—	—	—	—	A	A	—
Queue Length 95th (m)	—	15.1	15.1	—	—	—	—	—	—	1.7	1.7	—
Approach Delay (s)	—	14.1	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	1.4	—
Approach LOS	—	B	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 30. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia



Figura 11. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Jueves 09/05/19, Intersección 2 p.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
1	4	83	3,61%	0,80	103,75	523	697	697	3	10	B
2	3	175	1,71%	0,80	218,75	558	744	744	6	10	B
8	1	391	13,04%	0,80	488	0	1700	1700	0	0	A
9	1	56	0,00%	0,80	70	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 31. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	4↑						2↑					
Traffic Volume (vph)	83	175	0	0	0	0	0	391	56	0	0	0
Sign Control	--	Stop	--	--	Stop	--	--	Free	--	--	Free	--
Median Width (m)	--	0.0	--	--	0.0	--	--	0.0	--	--	0.0	--
TW/TL Median	--	<input type="checkbox"/>	--	--	<input type="checkbox"/>	--	--	<input type="checkbox"/>	--	--	<input type="checkbox"/>	--
Right Turn Channelized	--	--	None	--	--	None	--	--	None	--	--	None
Critical Gap, tC (s)	5.5	5.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Follow Up Time, tF (s)	3.4	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Volume to Capacity Ratio	0.24	0.24	--	--	--	--	--	0.19	0.14	--	--	--
Control Delay (s)	11.5	12.0	--	--	--	--	--	0.0	0.0	--	--	--
Level of Service	B	B	--	--	--	--	--	A	A	--	--	--
Queue Length 95th (m)	7.5	7.5	--	--	--	--	--	0.0	0.0	--	--	--
Approach Delay (s)	--	11.9	--	--	0.0	--	--	0.0	--	--	0.0	--
Approach LOS	--	B	--	--	A	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 32. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia



Figura 12. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Jueves 09/05/19, Intersección 3 p.m.												
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Ajuste de capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
5	3	143	2,80%	0,80	178,75	1293	292	222	295	18	34	D
6	2	70	1,43%	0,80	87,5	480	898	898	295	6	22	C
7	2	325	6,77%	0,80	406	0	1700	1700	1700	0	0	A
8	1	411	9,73%	0,86	480	0	1700	1700	1700	0	0	A

Tabla 33. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL			WBL			NBL			SBL		
	EBT	EBR	WBT	WBR	NBT	NBR	SBT	SBR				
Lanes and Sharing (#RL)	0			0			0			0		
Traffic Volume (vph)	0	0	0	143	70	325	411	0	0	0	0	
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	Free	—	—	Free	—	
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	
TW/TL Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	—	—	—	5.2	4.5	4.1	—	—	—	—	—	
Follow Up Time, tF (s)	—	—	—	3.2	2.6	2.1	—	—	—	—	—	
Volume to Capacity Ratio	—	—	—	0.53	0.34	0.24	0.24	—	—	—	—	
Control Delay (s)	—	—	—	31.3	17.8	2.0	2.0	—	—	—	—	
Level of Service	—	—	—	D	C	A	A	—	—	—	—	
Queue Length 95th (m)	—	—	—	22.5	12.1	7.4	7.4	—	—	—	—	
Approach Delay (s)	—	0.0	—	26.9	—	—	3.9	—	—	0.0	—	
Approach LOS	—	A	—	D	—	—	—	—	—	—	—	

Tabla 34. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

### 3.2.3 Datos obtenidos el viernes 10 de mayo en horario matutino

En el siguiente apartado se muestra una imagen extraída del software Synchro 8, donde se reflejan los volúmenes para cada movimiento, la configuración. Asimismo, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HCM 2010, a su vez, se muestra una imagen del programa Synchro 8, donde, se visualizan los siguientes resultados de acuerdo con los datos cargados: demora (control delay), nivel de servicio (Level of service), y longitud de cola (Queue Length).



Figura 13. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Viernes 10/05/19 , Intersección 1 a.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
2	3	203	10,84%	0,80	253,75	899	445	412	20	27	D
3	2	149	21,48%	0,83	180	644	773	773	4	11	B
10	2	102	1,96%	0,80	128	0	1700	1700	0	0	A
11	1	530	11,70%	0,82	644	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 35. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (HRL)	↑↑									↑↑		
Traffic Volume (vph)	0	203	149	0	0	0	0	0	0	102	530	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TwLTL Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, IC (s)	—	5.2	4.5	—	—	—	—	—	—	4.1	—	—
Follow Up Time, fF (s)	—	3.2	2.6	—	—	—	—	—	—	2.1	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	0.41	0.38	—	—	—	—	—	—	0.07	0.25	—
Control Delay (s)	—	17.6	13.3	—	—	—	—	—	—	0.6	1.0	—
Level of Service	—	C	B	—	—	—	—	—	—	A	A	—
Queue Length 95th (m)	—	15.7	14.2	—	—	—	—	—	—	1.9	1.9	—
Approach Delay (s)	—	15.8	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	1.4	—
Approach LOS	—	C	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 36. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Figura 14. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Viernes 10/05/19 , Intersección 2 a.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
1	4	86	3,49%	0,80	107,5	526	601	601	3	11	B
2	3	219	3,65%	0,80	273,75	542,5	647	647	11	11	B
8	1	407	10,57%	0,80	509	0	1700	1700	0	0	A
9	1	27	0,00%	0,80	33,75	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 37. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↓	↑↑						↑↑				
Traffic Volume (vph)	86	219	0	0	0	0	0	407	27	0	0	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	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, IC (s)	5.5	5.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Follow Up Time, IF (s)	3.4	3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	0.27	0.28	—	—	—	—	—	0.20	0.12	—	—	—
Control Delay (s)	11.8	12.4	—	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Level of Service	B	B	—	—	—	—	—	A	A	—	—	—
Queue Length 95th (m)	8.9	9.2	—	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Approach Delay (s)	—	12.3	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	B	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 38. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Figura 15. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Viernes 10/05/19 , Intersección 3 a.m.												
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Ajuste de capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
5	3	107	3,74%	0,80	133,75	1184	328	271	453	6	16	C
6	2	163	1,84%	0,80	203,75	592	811	811	453	11	19	C
7	2	242	16,53%	0,82	296	0	1700	1700	1700	0	0	A
8	1	493	13,59%	0,83	592	0	1700	1700	1700	0	0	A

Tabla 39. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS																																				
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR																								
Lanes and Sharing (#RL)	▼			↑↑			↑↑																													
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	107	163	242	493	0	0	0	0																								
Sign Control	--	Stop	--	--	Stop	--	--	Free	--	--	Free	--																								
Median Width (m)	--	0.0	--	--	0.0	--	--	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, IC (s)	--	--	--	--	5.2	4.5	4.1	--	--	--	--	--																								
Follow Up Time, IF (s)	--	--	--	--	3.2	2.6	2.1	--	--	--	--	--																								
Volume to Capacity Ratio	--	--	--	--	0.36	0.36	0.17	0.23	--	--	--	--																								
Control Delay (s)	--	--	--	--	20.7	13.0	1.5	1.7	--	--	--	--																								
Level of Service	--	--	--	--	C	B	A	A	--	--	--	--																								
Queue Length 95th (m)	--	--	--	--	12.9	12.9	5.0	5.0	--	--	--	--																								
Approach Delay (s)	--	0.0	--	--	16.0	--	--	2.8	--	--	0.0	--																								
Approach LOS	--	A	--	--	C	--	--	--	--	--	--	--																								

Tabla 40. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

### 3.2.4 Datos obtenidos el viernes 10 de mayo en horario Vespertino

En el siguiente apartado se muestra una imagen extraída del software Synchro 8, en donde se reflejan los volúmenes para cada movimiento, la configuración. Asimismo, se

muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HCM 2010, a su vez, se muestra una imagen del programa Synchro 8, donde, se visualizan los siguientes resultados de acuerdo con los datos cargados: demora (control delay), nivel de servicio (Level of service), y longitud de cola (Queue Length).



Figura 16. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Viernes 10/05/19 , Intersección 1 p.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
2	3	206	7,28%	0,80	257,5	878	456	424	20	26	D
3	2	196	10,20%	0,80	245	640	776	776	7	12	B
10	2	95	2,11%	0,80	119	0	1700	1700	0	0	A
11	1	513	11,50%	0,80	640	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 41. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	←			←			←			←		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↑↑									↑↑		
Traffic Volume (vph)	0	206	196	0	0	0	0	0	0	95	513	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	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, IC (s)	—	5.2	4.5	—	—	—	—	—	—	4.1	—	—
Follow Up Time, IF (s)	—	3.2	2.6	—	—	—	—	—	—	2.1	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	0.44	0.44	—	—	—	—	—	—	0.07	0.25	—
Control Delay (s)	—	17.2	13.4	—	—	—	—	—	—	0.6	1.0	—
Level of Service	—	C	B	—	—	—	—	—	—	A	A	—
Queue Length 95th (m)	—	18.0	18.0	—	—	—	—	—	—	1.8	1.8	—
Approach Delay (s)	—	15.4	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	1.3	—
Approach LOS	—	C	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 42. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia



Figura 17. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Viernes 10/05/19 , Intersección 2 p.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
1	4	96	5,21%	0,80	120	644	528	528	4	12	B
2	3	254	2,36%	0,80	317,5	675	564	564	17	12	B
8	1	491	10,79%	0,80	614	0	1700	1700	0	0	A
9	1	49	0,00%	0,80	61,25	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 43. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	96	254	0	0	0	0	0	491	49	0	0	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TWTL Median	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, IC (s)	5.5	5.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Follow Up Time, IF (s)	3.4	3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	0.34	0.38	—	—	—	—	—	0.24	0.16	—	—	—
Control Delay (s)	13.4	14.6	—	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Level of Service	B	B	—	—	—	—	—	A	A	—	—	—
Queue Length 95th (m)	12.3	13.9	—	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Approach Delay (s)	—	14.2	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	B	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 44. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia



Figura18. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Viernes 10/05/19 , Intersección 3 p.m.												
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Ajuste de capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
5	3	136	2,21%	0,80	170	1055	377	316	399	10	21	C
6	2	65	1,54%	0,80	81,25	502,5	880	880	399	4	16	C
7	2	221	3,62%	0,80	276	0	1700	1700	1700	0	0	A
8	1	402	4,48%	0,80	502,5	0	1700	1700	1700	0	0	A

Tabla 45. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección

3, viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia



SIGNING SETTINGS												
Lanes and Shading (#RL)	▼			↑↑			↑↑					
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	136	65	221	402	0	0	0	0
Sign Control	Stop			Stop			Free			Free		
Median Width (m)	0.0			0.0			0.0			0.0		
Tw/TL Median	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Critical Gap, tC (s)	-			5.2	4.5	-	4.1	-	-	-		
Follow Up Time, tF (s)	-			3.2	2.6	-	2.1	-	-	-		
Volume to Capacity Ratio	-			0.36	0.25	-	0.16	0.20	-	-		
Control Delay (s)	-			19.6	13.8	-	1.3	1.7	-	-		
Level of Service	-			C	B	-	A	A	-	-		
Queue Length 95th (m)	-			12.6	7.9	-	4.6	4.6	-	-		
Approach Delay (s)	0.0			17.7			3.0			0.0		
Approach LOS	A			C			-			-		

Tabla 46. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

### 3.2.5 Datos obtenidos el lunes 13 de mayo en horario matutino

En el siguiente apartado se muestra una imagen extraída del software Synchro 8, en donde se reflejan los volúmenes para cada movimiento, la configuración. Asimismo, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HCM 2010, a su vez, se muestra una imagen del programa Synchro 8, donde, se visualizan los siguientes resultados de acuerdo con los datos cargados: demora (control delay), nivel de servicio (Level of service), y longitud de cola (Queue Length).



Figura 19. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Lunes 13/05/19 , Intersección 1 a.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
2	3	250	3,20%	0,80	312,5	1099	360	322	51	79	F
3	2	236	8,90%	0,80	295	743,75	706	706	10	14	B
10	2	142	0,70%	0,80	178	0	1700	1700	0	0	A
11	1	595	7,73%	0,80	743,75	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 47. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL			EBT			EBR			WBL			WBT			WBR			NBL			NBT			NBR			SBL			SBT			SBR		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR																								
Lanes and Sharing (#RL)	↓ ↑↑															↑↑																				
Traffic Volume (vph)	0	250	236	0	0	0	0	0	0	142	595	0																								
Sign Control	--	Stop	--	--	Stop	--	--	Free	--	--	Free	--																								
Median Width (m)	--	0.0	--	--	0.0	--	--	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, IC (s)	--	5.2	4.5	--	--	--	--	--	--	4.1	--	--																								
Follow Up Time, IF (s)	--	3.2	2.6	--	--	--	--	--	--	2.1	--	--																								
Volume to Capacity Ratio	--	0.64	0.62	--	--	--	--	--	--	0.10	0.29	--																								
Control Delay (s)	--	29.3	19.3	--	--	--	--	--	--	0.9	1.2	--																								
Level of Service	--	D	C	--	--	--	--	--	--	A	A	--																								
Queue Length 95th (m)	--	34.3	34.3	--	--	--	--	--	--	2.8	2.8	--																								
Approach Delay (s)	--	24.4	--	--	0.0	--	--	0.0	--	--	1.7	--																								
Approach LOS	--	C	--	--	A	--	--	--	--	--	--	--																								

Tabla 48. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Figura 20. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Lunes 13/05/19 , Intersección 2 a.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
1	4	46	6,52%	0,80	57,5	527	600	600	2	11	B
2	3	155	4,52%	0,80	193,75	547,5	644	644	6	11	B
8	1	405	3,95%	0,80	506	0	1700	1700	0	0	A
9	1	33	9,09%	0,80	41,25	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 49. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia



SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)		4↑						4↑				
Traffic Volume (vph)	46	155	0	0	0	0	0	405	33	0	0	0
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	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, IC (s)	5.5	5.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Follow Up Time, tF (s)	3.4	3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	0.17	0.20	—	—	—	—	—	0.20	0.12	—	—	—
Control Delay (s)	11.1	11.7	—	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Level of Service	B	B	—	—	—	—	—	A	A	—	—	—
Queue Length 95th (m)	4.9	5.9	—	—	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Approach Delay (s)	—	11.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	B	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 50. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Figura 21. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Lunes 13/05/19 , Intersección 3 a.m.												
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Ajuste de capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
5	3	117	1,71%	0,80	146,25	974	411	360	462	7	16	C
6	2	73	2,74%	0,80	91,25	548,75	844	844	462	4	15	B
7	2	170	8,82%	0,80	213	0	1700	1700	1700	0	0	A
8	1	439	5,92%	0,80	548,75	0	1700	1700	1700	0	0	A

Tabla 51. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	▼			↑↑			↑↑					
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	117	73	170	439	0	0	0	0
Sign Control	Stop			Stop			Free			Free		
Median Width (m)	0.0			0.0			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, IC (s)	-			5.2 4.5			4.1			-		
Follow Up Time, IF (s)	-			3.2 2.6			2.1			-		
Volume to Capacity Ratio	-			0.27 0.22			0.12 0.22			-		
Control Delay (s)	-			16.5 12.2			1.0 1.5			-		
Level of Service	-			C B			A A			-		
Queue Length 95th (m)	-			8.6 6.7			3.4 3.4			-		
Approach Delay (s)	0.0			14.9			2.3			0.0		
Approach LOS	A			B			-			-		

Tabla 52. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

### 3.2.6 Datos obtenidos el lunes 13 de mayo en horario vespertino

En el siguiente apartado se muestra una imagen extraída del software Synchro 8, en donde se reflejan los volúmenes para cada movimiento, la configuración. Asimismo, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HCM 2010, a su vez, se muestra una imagen del programa Synchro 8, donde, se visualizan los siguientes resultados de acuerdo con los datos cargados: demora (control delay), nivel de servicio (Level of service), y longitud de cola (Queue Length).



Figura 22. Simulación de la intersección 1 en Synchro 8 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Lunes 13/05/19 , Intersección 1 p.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
2	3	217	11,06%	0,88	248	956	419	376	23	31	D
3	2	221	12,67%	0,80	276,25	603,75	802	802	8	12	B
10	2	141	4,96%	0,80	176	0	1700	1700	0	0	A
11	1	483	15,94%	0,80	603,75	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 53. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 1, lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL			EBT			EBR			WBL			WBT			WBR			NBL			NBT			NBR			SBL			SBT			SBR		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR																								
Lanes and Sharing (#RL)	↓ ↑↑																																			
Traffic Volume (vph)	0	217	221	0	0	0	0	0	0	0	141	483	0																							
Sign Control	—	Stop	—	—	Stop	—	—	Free	—	—	Free	—																								
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	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, IC (s)	—	5.2	4.5	—	—	—	—	—	—	—	4.1	—	—																							
Follow Up Time, tF (s)	—	3.2	2.6	—	—	—	—	—	—	—	2.1	—	—																							
Volume to Capacity Ratio	—	0.48	0.48	—	—	—	—	—	—	—	0.10	0.24	—																							
Control Delay (s)	—	19.2	14.2	—	—	—	—	—	—	—	0.9	1.3	—																							
Level of Service	—	C	B	—	—	—	—	—	—	—	A	A	—																							
Queue Length 95th (m)	—	21.0	21.0	—	—	—	—	—	—	—	2.7	2.7	—																							
Approach Delay (s)	—	16.6	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—	1.9	—																							
Approach LOS	—	C	—	—	A	—	—	—	—	—	—	—	—																							

Tabla 54. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 1, para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia



Figura 23. Simulación de la intersección 2 en Synchro 8 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Lunes 13/05/19 , Intersección 2 p.m.											
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
1	4	59	3,39%	0,80	73,75	655	522	522	2	12	B
2	3	209	4,31%	0,80	261,25	680,75	560	560	12	12	B
8	1	503	5,17%	0,80	629	0	1700	1700	0	0	A
9	1	42	2,38%	0,81	52	0	1700	1700	0	0	A

Tabla 55. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 2, lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia



SIGNING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↓	↑↑						↑↑				
Traffic Volume (vph)	59	209	0	0	0	0	0	503	42	0	0	0
Sign Control	--	Stop	--	--	Stop	--	--	Free	--	--	Free	--
Median Width (m)	--	0.0	--	--	0.0	--	--	0.0	--	--	0.0	--
TWLT Median	--	☐	--	--	☐	--	--	☐	--	--	☐	--
Right Turn Channelized	--	--	None	--	--	None	--	--	None	--	--	None
Critical Gap, IC (s)	5.5	5.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Follow Up Time, IF (s)	3.4	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Volume to Capacity Ratio	0.25	0.31	--	--	--	--	--	0.25	0.15	--	--	--
Control Delay (s)	12.6	13.7	--	--	--	--	--	0.0	0.0	--	--	--
Level of Service	B	B	--	--	--	--	--	A	A	--	--	--
Queue Length 95th (m)	8.0	10.5	--	--	--	--	--	0.0	0.0	--	--	--
Approach Delay (s)	--	13.5	--	--	0.0	--	--	0.0	--	--	0.0	--
Approach LOS	--	B	--	--	A	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 56. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 2, para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia



Figura 24. Simulación de la intersección 3 en Synchro 8 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Lunes 13/05/19 , Intersección 3 p.m.												
Movimiento	Prioridad	VHMD (Veh/h)	% pesados	FHP	Volumen de diseño (veh/h)	Vopuesto (veh/h)	Capacidad Potencial (veh/h)	Capacidad (veh/h)	Ajuste de capacidad (veh/h)	Longitud de cola (m)	Demora (s)	LOS
5	3	130	1,54%	0,80	162,5	1025	390	336	424	9	19	C
6	2	69	1,45%	0,80	86,25	552	841	841	424	4	16	C
7	2	189	8,99%	0,80	236	0	1700	1700	1700	0	0	A
8	1	466	12,02%	0,84	552	0	1700	1700	1700	0	0	A

Tabla 57. Resultados obtenidos aplicando la Metodología HCM-2010 para la intersección 3, lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	EBL			EBT			EBR			WBL			WBT			WBR			NBL			NBT			NBR			SBL			SBT			SBR		
	Lanes and Sharing (#RL)	▼			▼			▼			↑↑			↑↑			↑↑			▼			▼			▼			▼			▼				
Traffic Volume (vph)	0			0			0			0			130			69			189			466			0			0			0					
Sign Control	—			Stop			—			—			Stop			—			—			Free			—			—			Free			—		
Median Width (m)	—			0.0			—			—			0.0			—			—			0.0			—			—			0.0			—		
TW/TL Median	—			☐			—			—			☐			—			—			☐			—			—			☐			—		
Right Turn Channelized	—			—			None			—			—			None			—			—			None			—			—			None		
Critical Gap, tC (s)	—			—			—			—			5.2			4.5			4.1			—			—			—			—			—		
Follow Up Time, tF (s)	—			—			—			—			3.2			2.6			2.1			—			—			—			—			—		
Volume to Capacity Ratio	—			—			—			—			0.32			0.24			0.14			0.22			—			—			—			—		
Control Delay (s)	—			—			—			—			18.2			13.1			1.1			1.6			—			—			—			—		
Level of Service	—			—			—			—			C			B			A			A			—			—			—			—		
Queue Length 95th (m)	—			—			—			—			10.9			7.5			3.8			3.8			—			—			—			—		
Approach Delay (s)	—			0.0			—			—			16.5			—			—			2.5			—			—			0.0			—		
Approach LOS	—			A			—			—			C			—			—			—			—			—			—			—		

Tabla 58. Resultados obtenidos mediante el programa Synchro 8 para la intersección 3, para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

### 3.3 Gráficos y Cuadros Comparativos

		Jueves 09 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)						
		Movimiento 2			Movimiento 3			
Interseccion 1	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	12,6	8,6	B	B	10,6	8,4	B	B
Metodologia HCM-2010	16	10	C	B	9	3	A	A
Datos de Campo Max	63	54	F	E	88,2	57	F	F
Datos de Campo Prom	38	-	E	D	45	-	E	E

Tabla 59. Cuadro comparativo, intersección 1 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

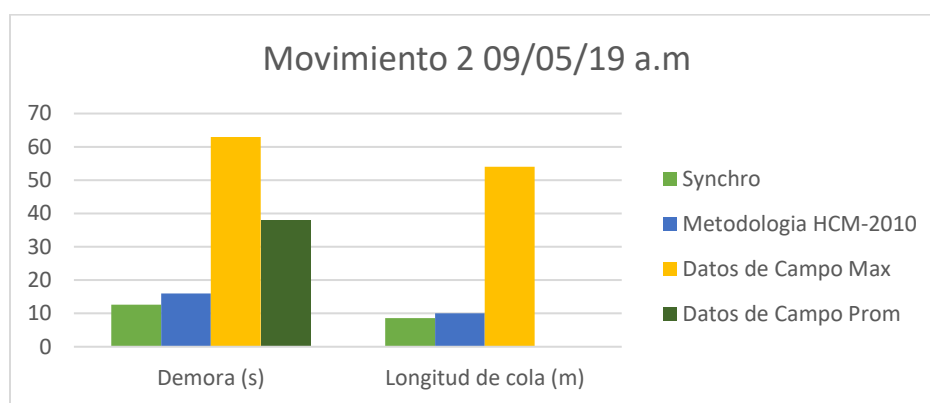


Figura 25. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

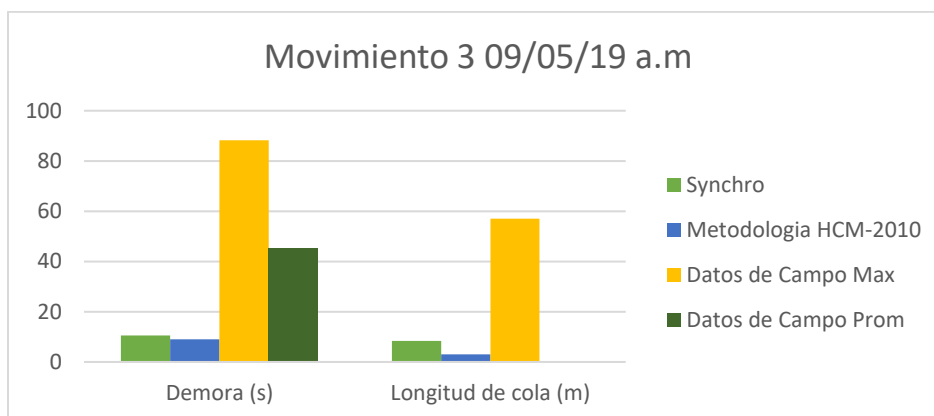


Figura 26. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Jueves 09 de Mayo del 2019 ( 4:30 a.m-6:30 p.m)								
		Movimiento 2			Movimiento 3			
Interseccion 1	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	15,5	15,1	C	B	12,4	15,1	B	B
Metodologia HCM-2010	22	18	C	C	11	5	B	B
Datos de Campo Max	174,6	60	F	F	78	40	F	F
Datos de Campo Prom	68	-	F	E	36	-	E	D

Tabla 60. Cuadro comparativo, intersección 1 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

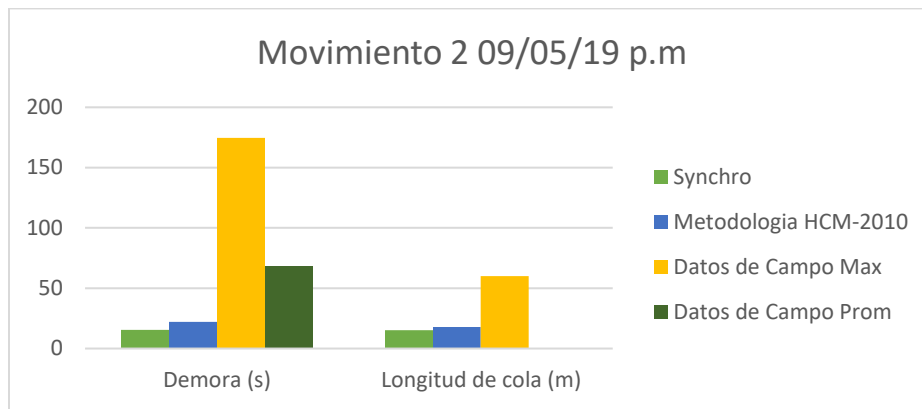


Figura 27. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

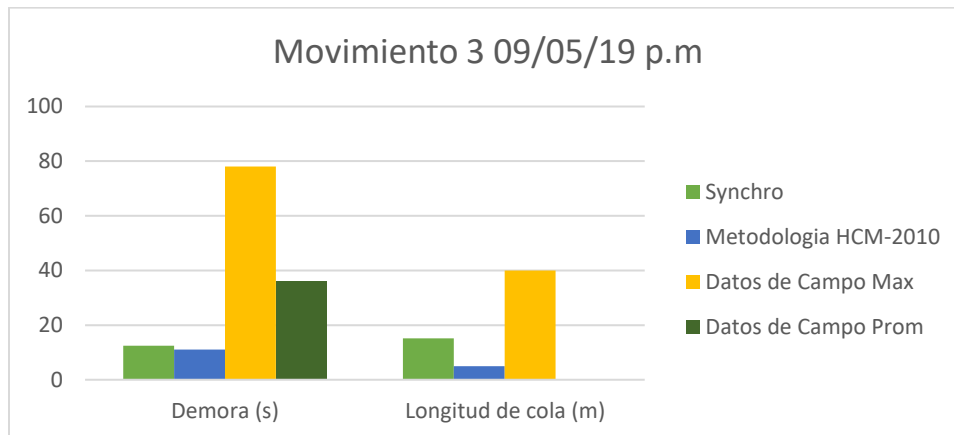


Figura 28. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Jueves 09 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 1					Movimiento 2			
Interseccion 2	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	12,2	9,7	B	B	13	11,7	B	B
Metodologia HCM-2010	11	2	B	B	11	14	B	B
Datos de Campo Max	30	50	D	C	60	68	F	E
Datos de Campo Prom	15	-	B	B	13	-	B	B

Tabla 61. Cuadro comparativo, intersección 2 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

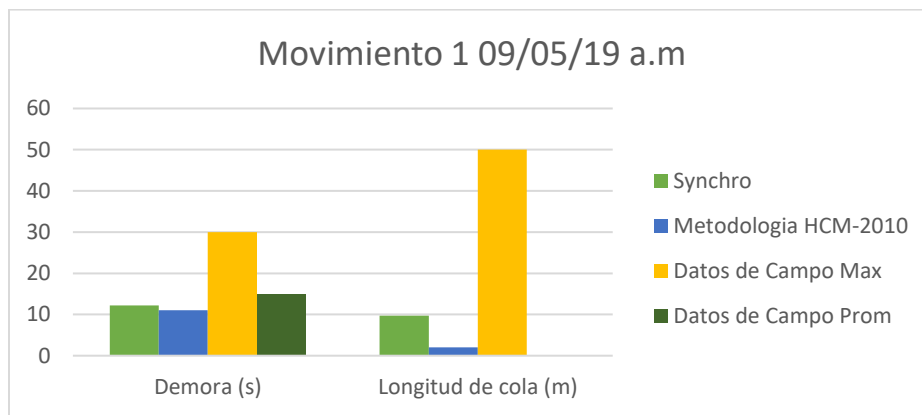


Figura 29. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

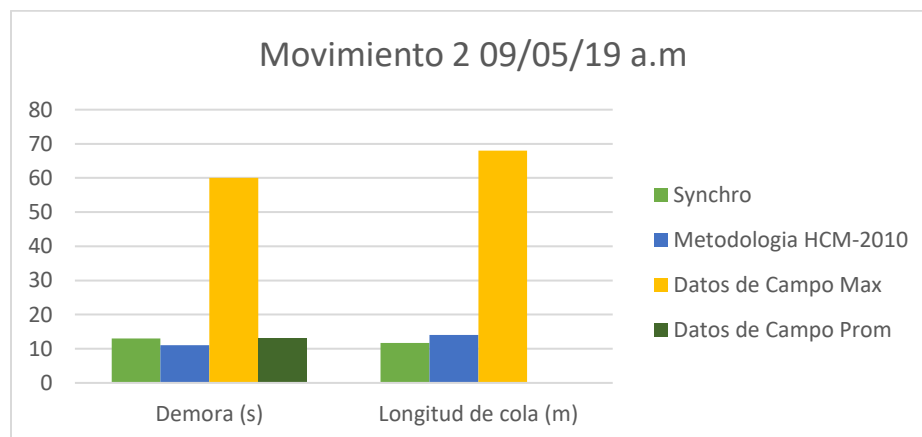


Figura 30. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Jueves 09 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 1					Movimiento 2			
Interseccion 2	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	11,5	7,5	B	B	12	7,5	B	B
Metodologia HCM-2010	11	3	B	B	11	8	B	B
Datos de Campo Max	38	55	E	D	65	78	F	E
Datos de Campo Prom	33	-	D	D	14	-	B	B

Tabla 62. Cuadro comparativo, intersección 2 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

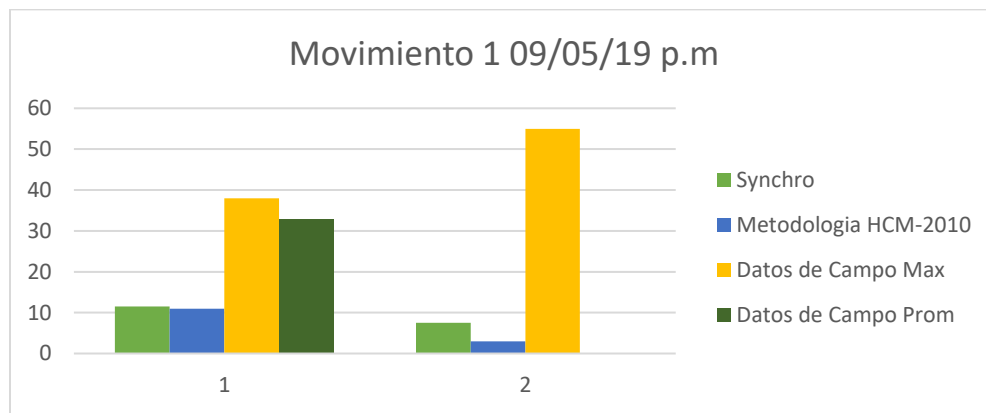


Figura 31. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

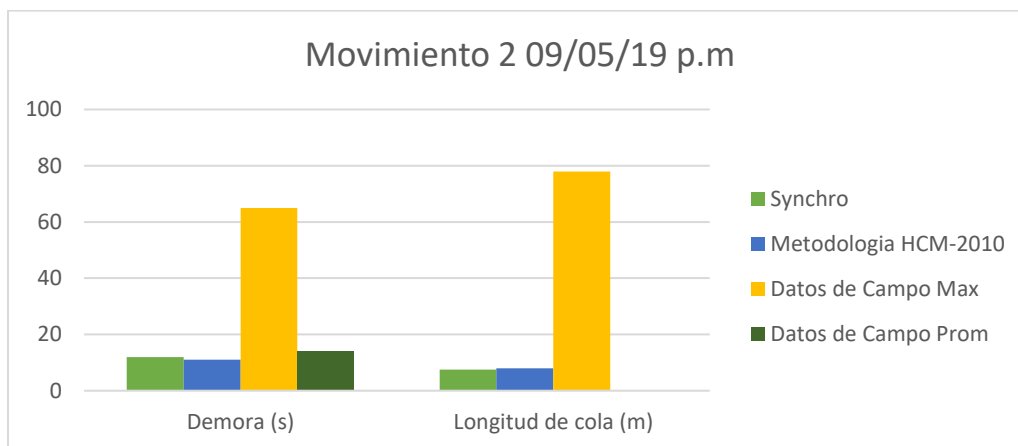


Figura 32. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Jueves 09 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 5					Movimiento 6			
Interseccion 3	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	25,9	19,6	D	C	15,8	11,2	C	B
Metodologia HCM-2010	27	16	D	C	19	6	C	B
Datos de Campo Max	201	59	F	F	201	59	F	F
Datos de Campo Prom	43,61	-	E	E	43,61	-	E	E

Tabla 63. Cuadro comparativo, intersección 3 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

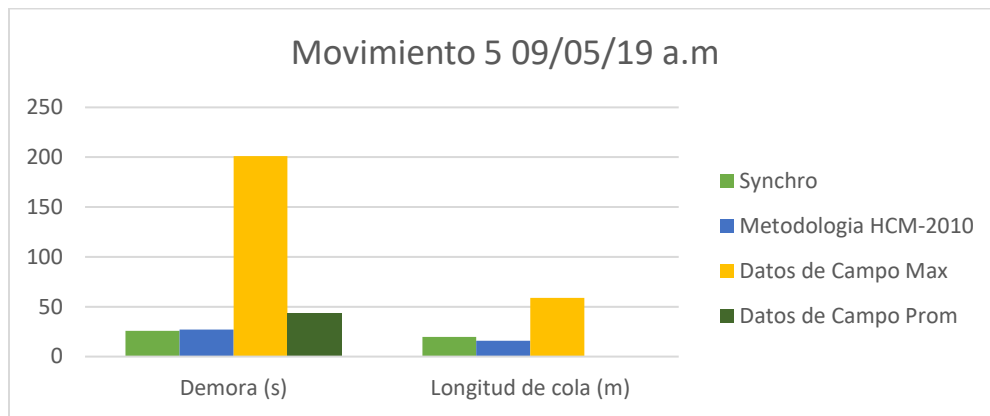


Figura 33. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

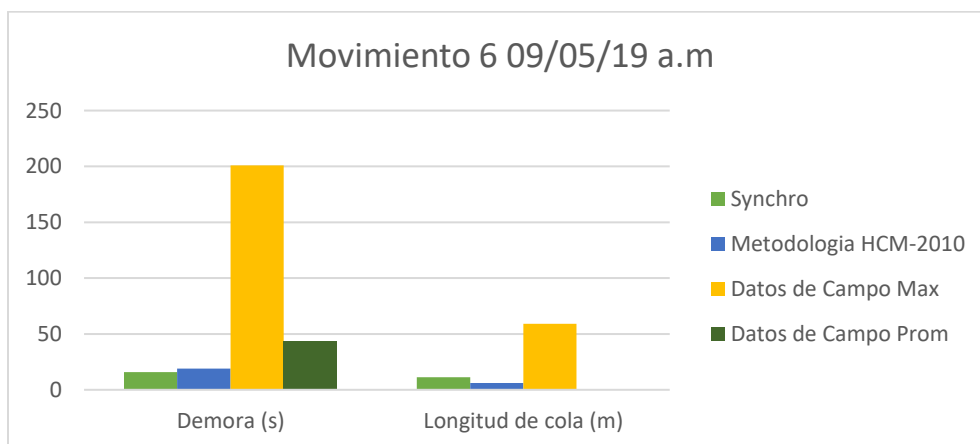


Figura 34. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Jueves 09 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 5					Movimiento 6			
Interseccion 3	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	31,3	22,5	D	D	17,8	12,1	C	B
Metodologia HCM-2010	34	18	D	D	22	6	C	C
Datos de Campo Max	261	67	F	F	261	67	F	F
Datos de Campo Prom	65	-	F	E	65	-	F	E

Tabla 64. Cuadro comparativo, intersección 3 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

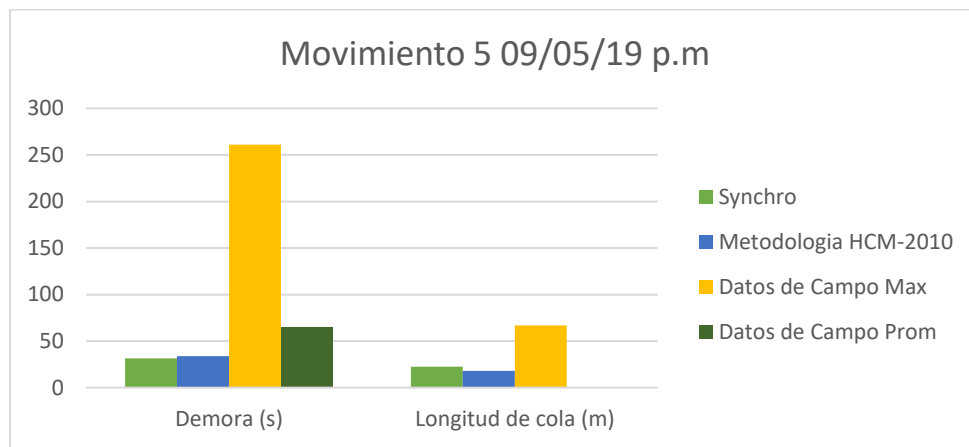


Figura 35. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

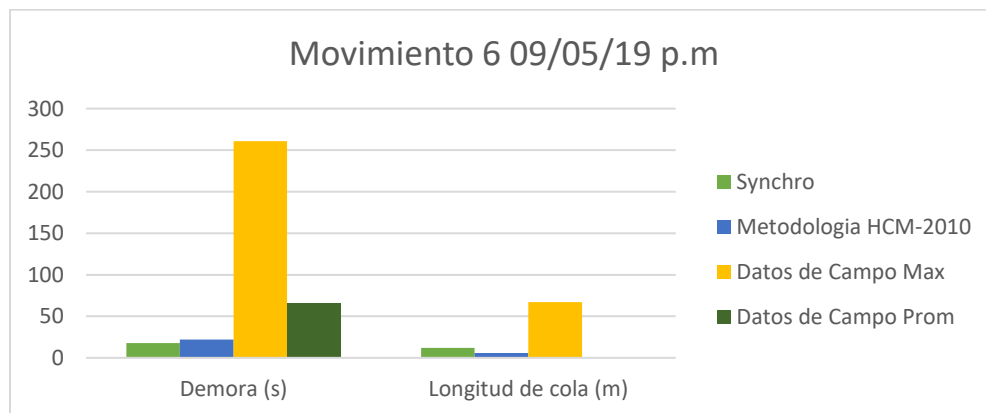


Figura36. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el jueves 09/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Viernes 10 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 2					Movimiento 3			
Interseccion 1	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	17,6	15,7	C	B	13,3	14,2	B	B
Metodologia HCM-2010	27	20	D	C	11	4	B	B
Datos de Campo Max	147	47	F	F	76	60	F	F
Datos de Campo Prom	78	-	F	F	54	-	F	E

Tabla 65. Cuadro comparativo, intersección 1 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

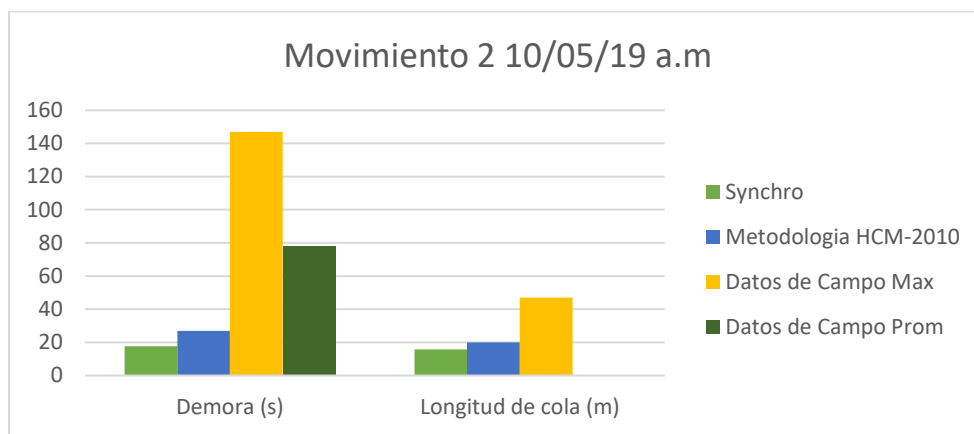


Figura 37. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

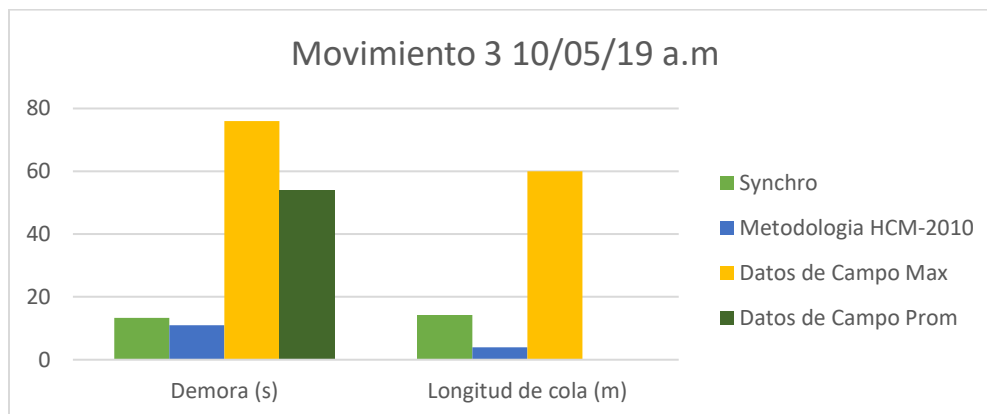


Figura 38. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Viernes 10 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 2					Movimiento 3			
Interseccion 1	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	17,2	18	C	B	13,4	18	B	B
Metodologia HCM-2010	26	20	D	C	12	7	B	B
Datos de Campo Max	226,98	66	F	F	90,48	46	F	F
Datos de Campo Prom	99	-	F	F	43	-	E	E

Tabla 66. Cuadro comparativo, intersección 1 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

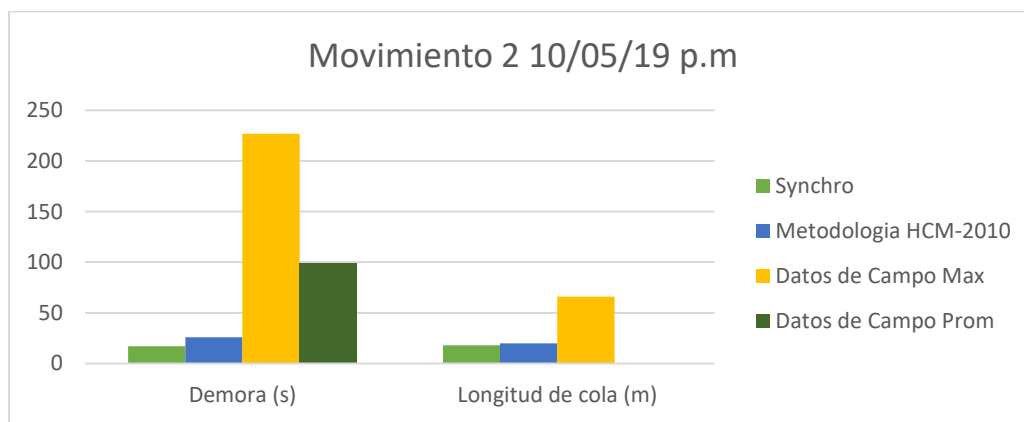


Figura 39. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

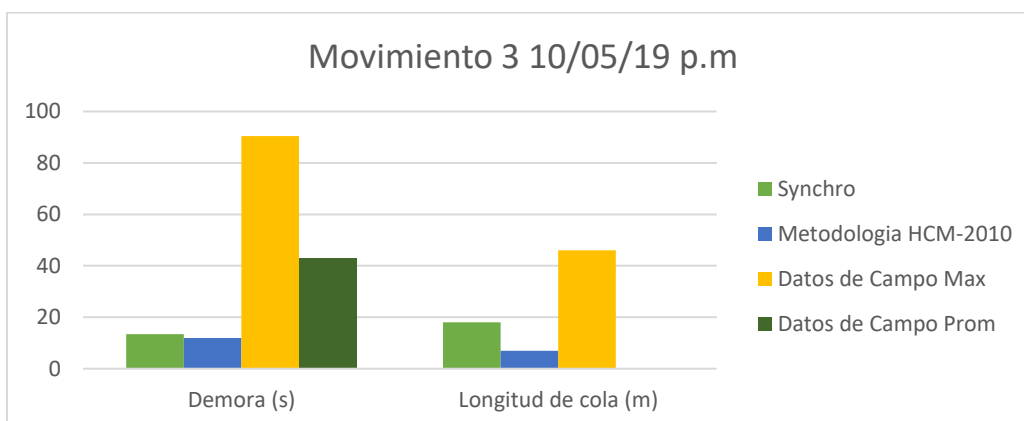


Figura 40. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Viernes 10 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 1					Movimiento 2			
Interseccion 2	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	11,8	8,9	B	B	12,4	9,2	B	B
Metodologia HCM-2010	11	3	B	B	11	11	B	B
Datos de Campo Max	26	100	D	C	36	100	E	D
Datos de Campo Prom	21	-	C	C	18	-	C	B

Tabla 67. Cuadro comparativo, intersección 2 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

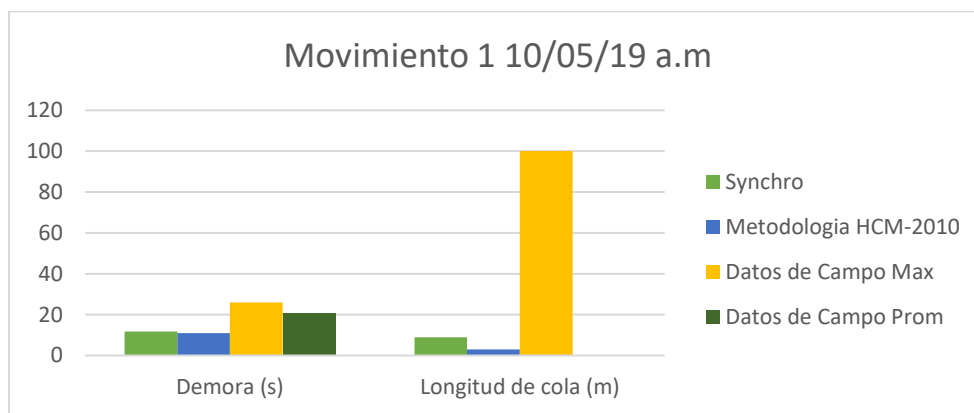


Figura 41. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

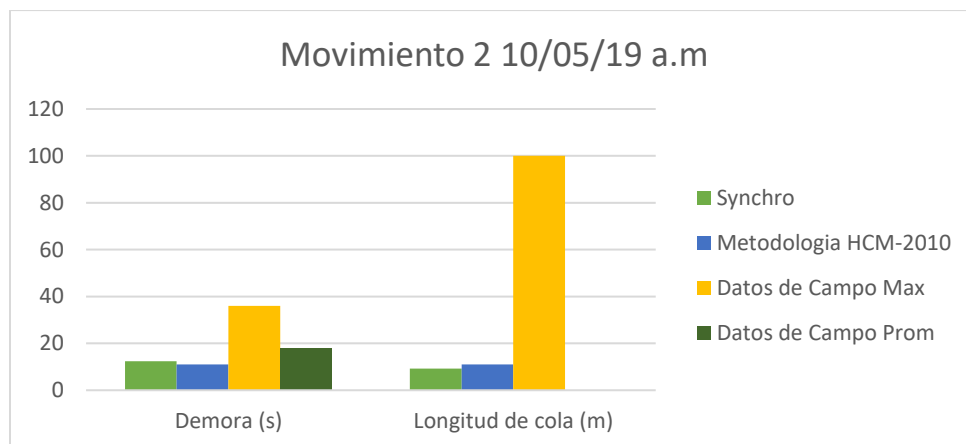


Figura 42. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Viernes 10 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 1					Movimiento 2			
Interseccion 2	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	13,4	12,3	B	B	14,6	13,9	B	B
Metodologia HCM-2010	12	4	B	B	12	17	B	B
Datos de Campo Max	18	81	C	B	25	75	C	C
Datos de Campo Prom	15	-	B	B	14	-	B	B

Tabla 68. Cuadro comparativo, intersección 2 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

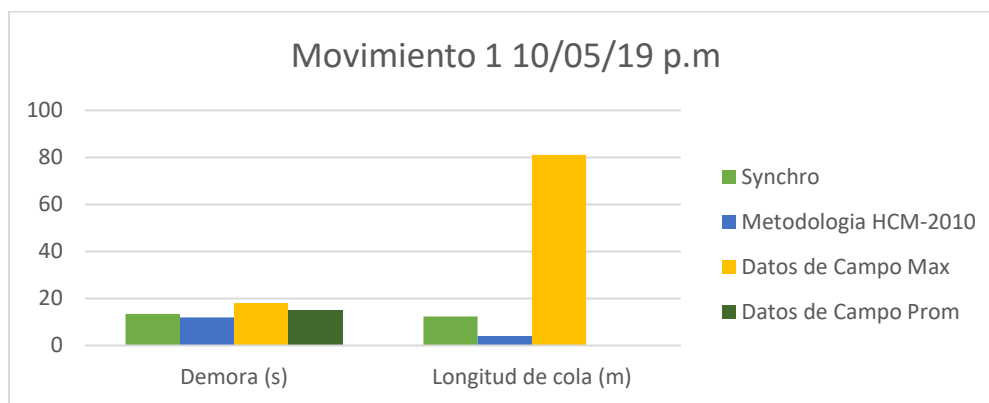


Figura 43. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

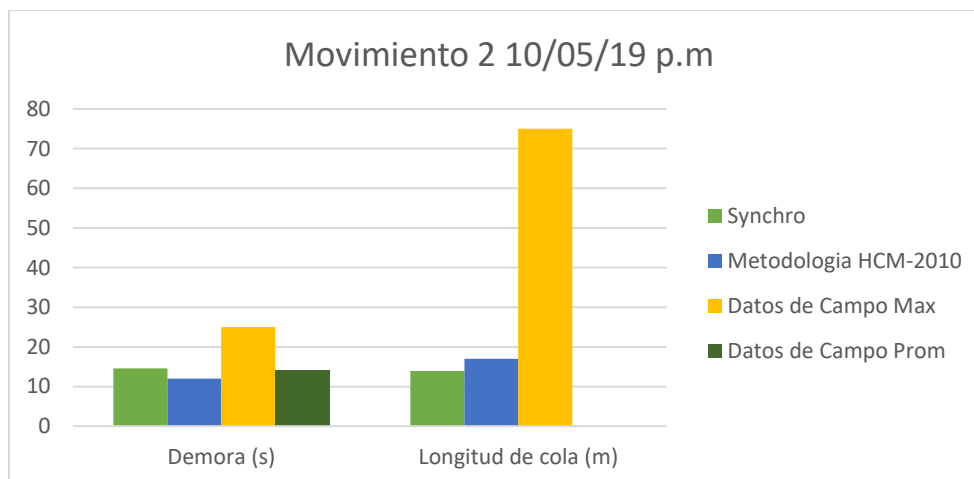


Figura 44. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Viernes 10 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 5					Movimiento 6			
Interseccion 3	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	20,7	12,9	C	C	13	12,9	B	B
Metodologia HCM-2010	16	6	C	B	19	11	C	B
Datos de Campo Max	245	50	F	F	245	50	F	F
Datos de Campo Prom	58	-	F	E	58	-	F	E

Tabla 69. Cuadro comparativo, intersección 3 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

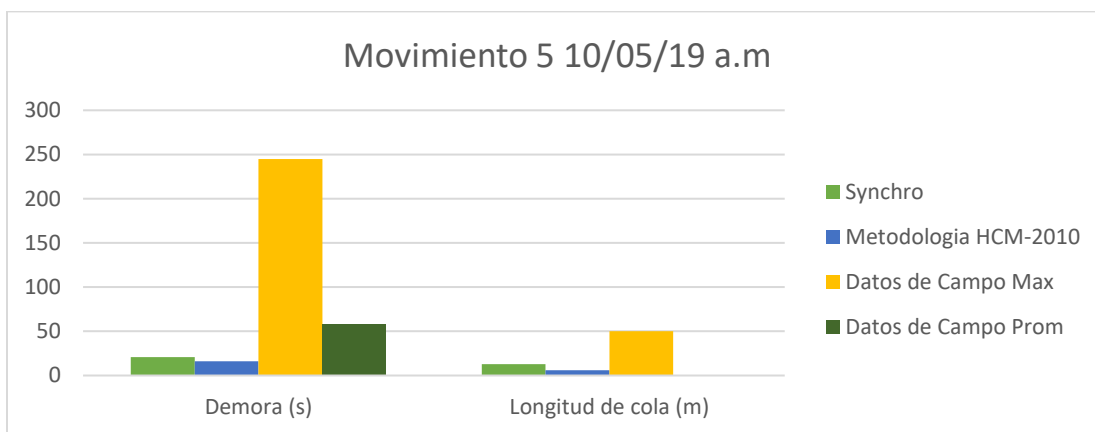


Figura 45. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

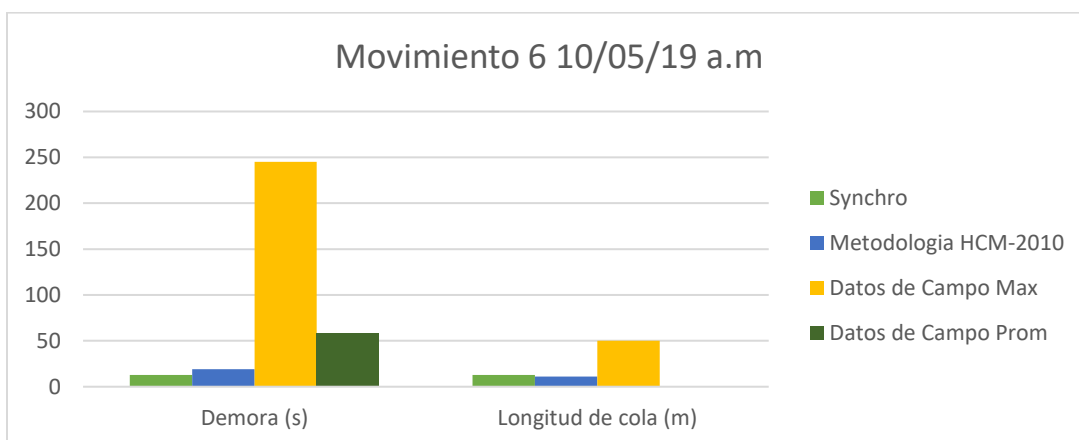


Figura 46. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Viernes 10 de Mayo del 2019 ( 4:30 a.m-6:30 p.m)								
Movimiento 5					Movimiento 6			
Interseccion 3	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	19,6	12,6	C	B	13,8	7,9	B	B
Metodologia HCM-2010	21	10	C	C	16	4	C	B
Datos de Campo Max	254	57	F	F	254	57	F	F
Datos de Campo Prom	83	-	F	F	83	-	F	F

Tabla 70. Cuadro comparativo, intersección 3 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

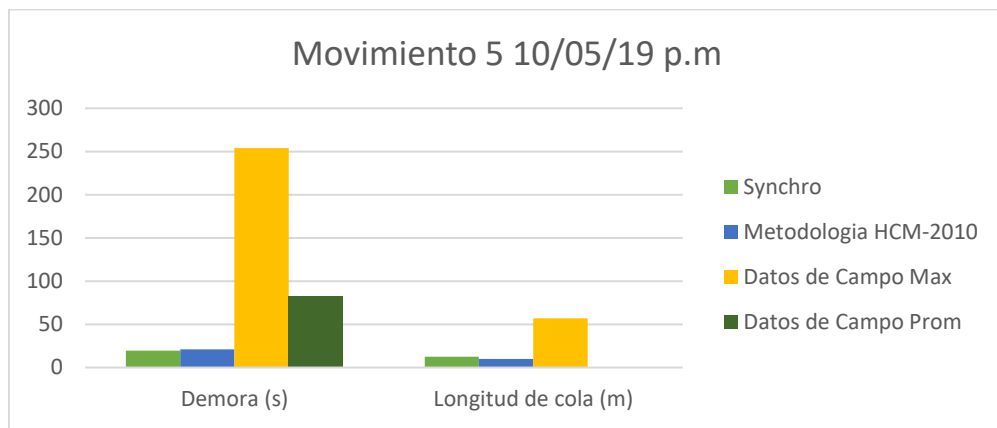


Figura 47. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

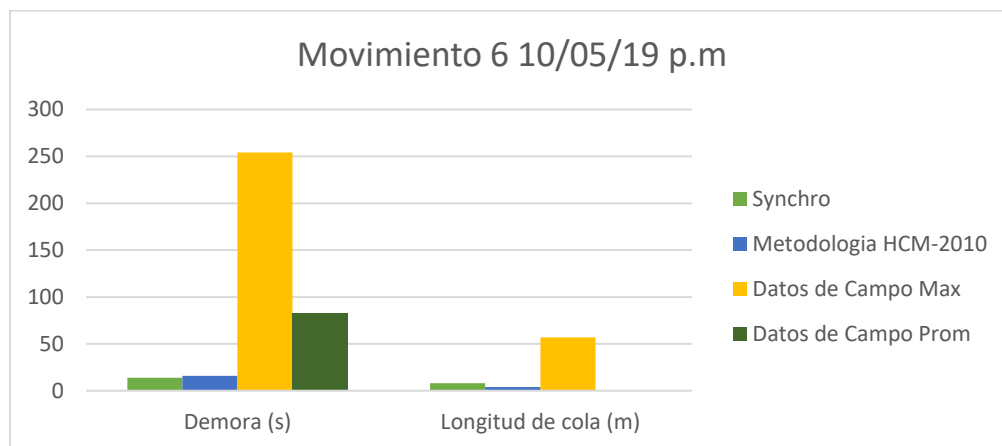


Figura 48. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el viernes 10/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Lunes 13 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 2					Movimiento 3			
Interseccion 1	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	29,3	34,3	D	C	19,3	34,3	C	B
Metodologia HCM-2010	79	51	F	F	14	10	B	B
Datos de Campo Max	121	65	F	F	83	40	F	F
Datos de Campo Prom	61	-	F	E	55	-	F	E

Tabla 71. Cuadro comparativo, intersección 1 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

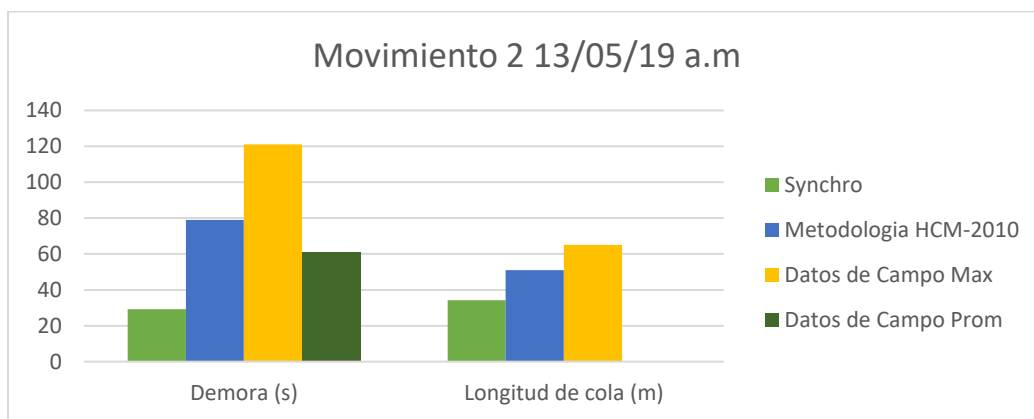


Figura 49. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

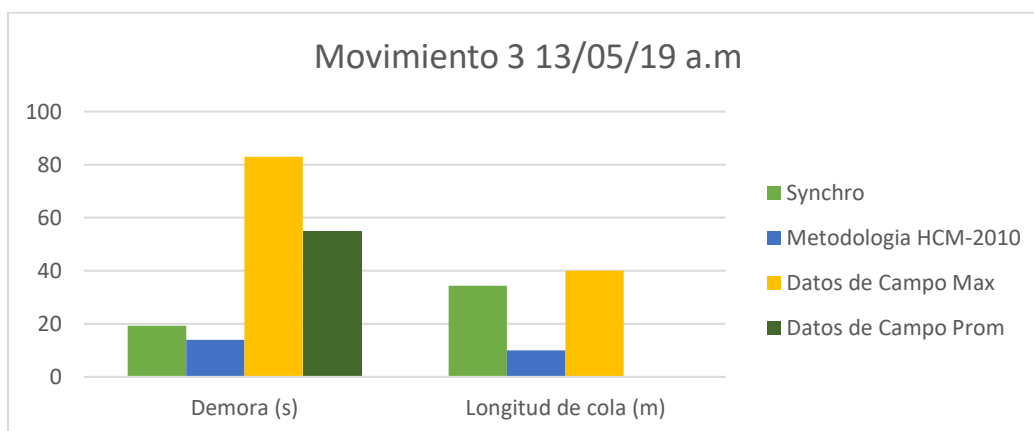


Figura 50. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Lunes 13 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 2					Movimiento 3			
Interseccion 1	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	19,2	21	C	B	14,2	21	B	B
Metodologia HCM-2010	31	23	D	D	12	8	B	B
Datos de Campo Max	284	53	F	F	221	45	F	F
Datos de Campo Prom	95	-	F	F	83	-	F	F

Tabla 72. Cuadro comparativo, intersección 1 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

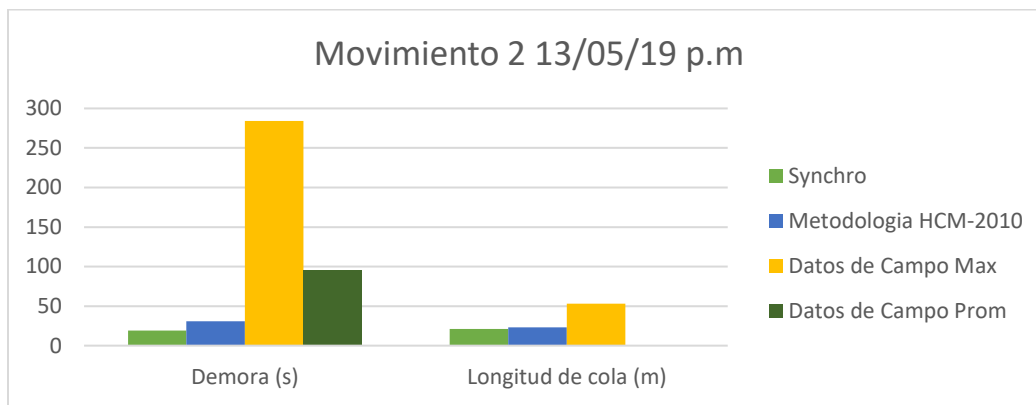


Figura 51. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

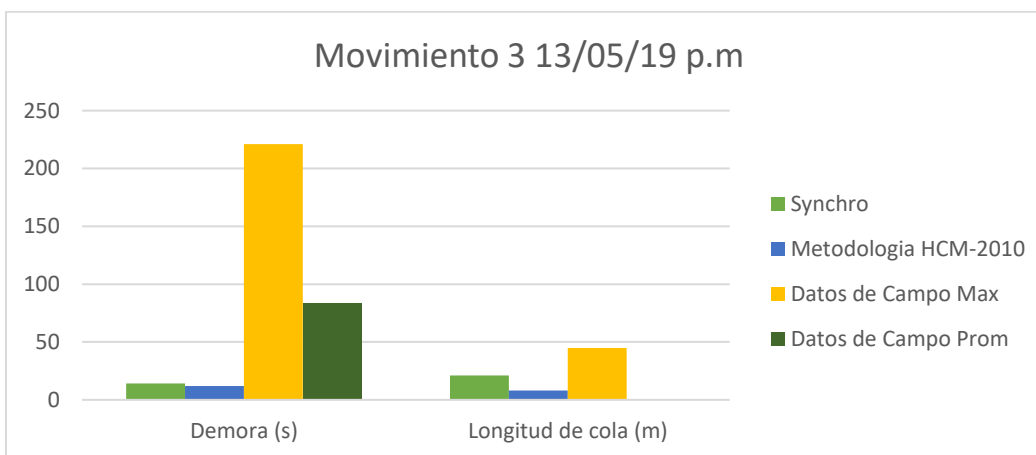


Figura 52. Gráfico comparativo de la maniobra 3 en la intersección 1 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Lunes 13 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 1					Movimiento 2			
Interseccion 2	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	11,1	4,9	B	B	11,7	5,9	B	B
Metodologia HCM-2010	11	2	B	B	11	6	B	B
Datos de Campo Max	72	45	F	E	71	40	F	E
Datos de Campo Prom	56	-	F	E	42	-	E	E

Tabla 73. Cuadro comparativo, intersección 1 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

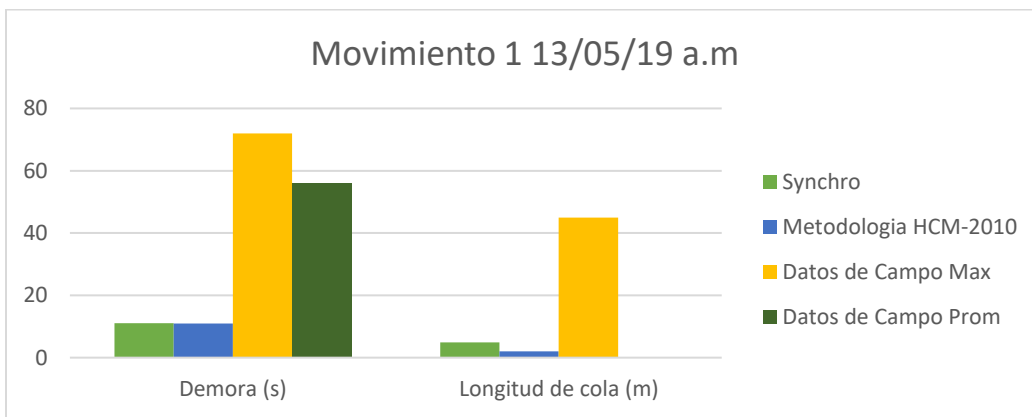


Figura 53. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

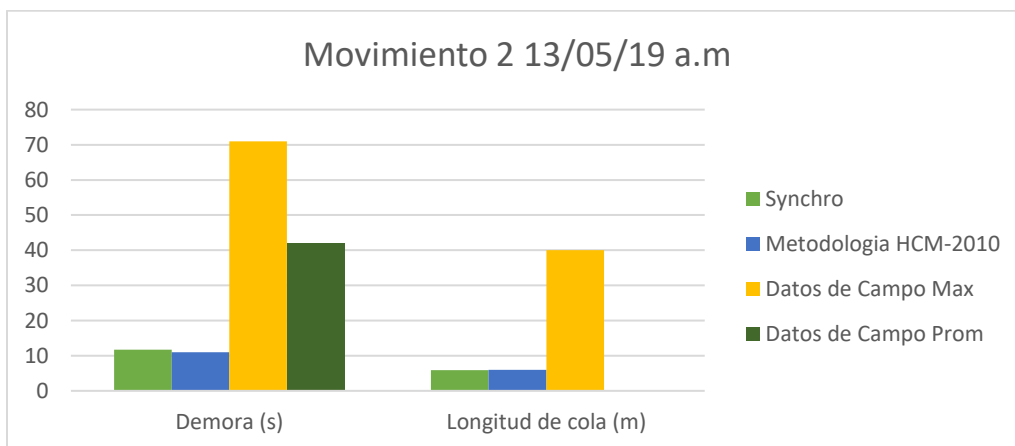


Figura 54. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

Lunes 13 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 1					Movimiento 2			
Interseccion 2	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	12,6	8	B	B	13,7	10,5	B	B
Metodologia HCM-2010	12	2	B	B	12	12	B	B
Datos de Campo Max	90	70	F	F	89	65	F	F
Datos de Campo Prom	68	-	F	E	58	-	F	E

Tabla 74. Cuadro comparativo, intersección 2 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

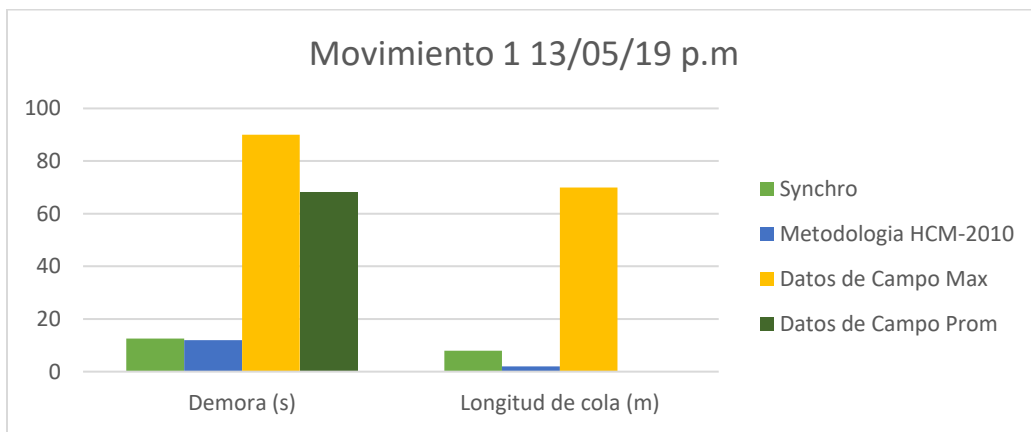


Figura 55. Gráfico comparativo de la maniobra 1 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

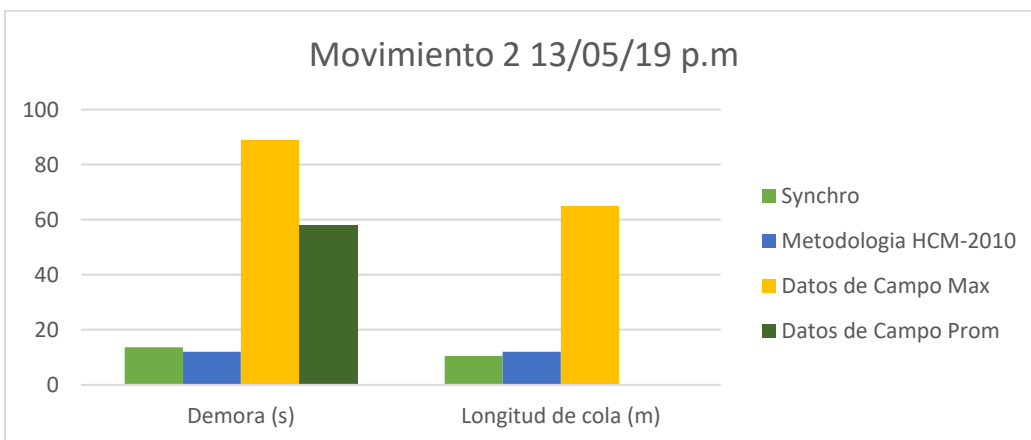


Figura 56. Gráfico comparativo de la maniobra 2 en la intersección 2 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

Lunes 13 de Mayo del 2019 ( 6:30 a.m-8:30 a.m)								
Movimiento 5					Movimiento 6			
Interseccion 3	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	16,5	8,6	C	B	12,2	6,7	B	B
Metodologia HCM-2010	16	7	C	B	15	4	B	B
Datos de Campo Max	66	25	F	E	66	25	F	E
Datos de Campo Prom	19	-	C	B	19	-	C	B

Tabla 75. Cuadro comparativo, intersección 3 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

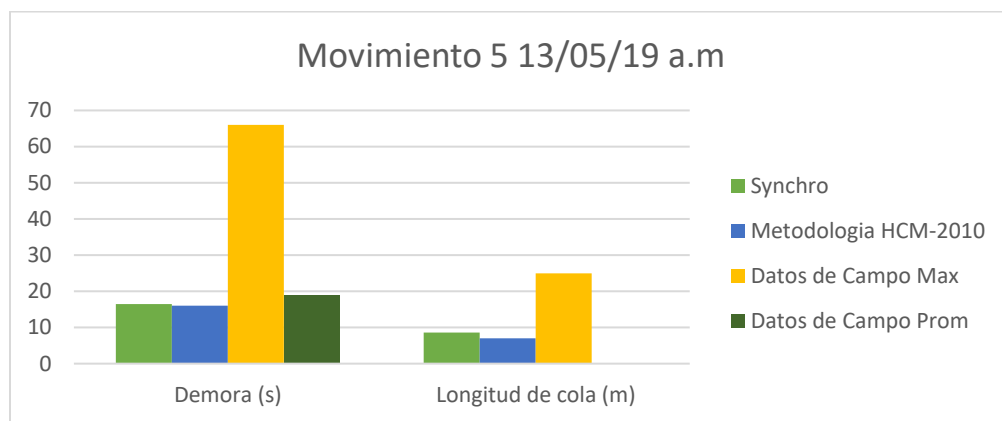


Figura 57. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia

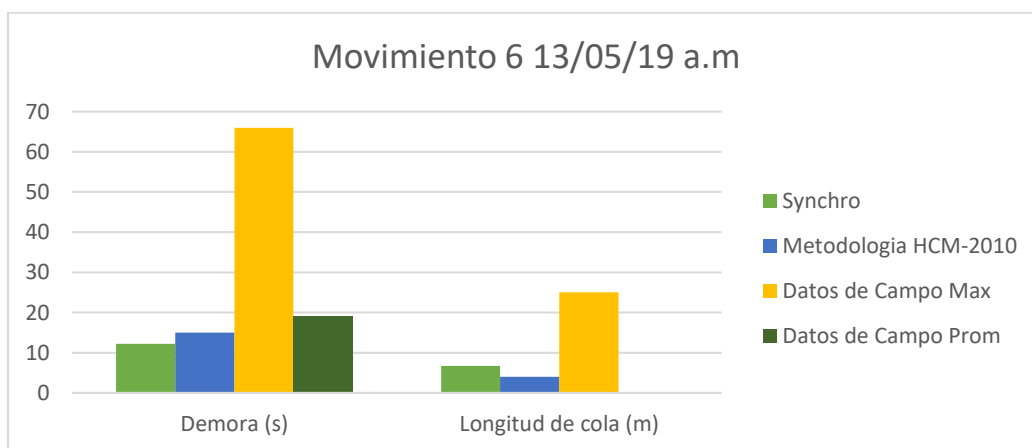


Figura 58. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 a.m.

Fuente: Propia



Lunes 13 de Mayo del 2019 ( 4:30 p.m-6:30 p.m)								
Movimiento 5					Movimiento 6			
Interseccion 3	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)	Demora (s)	Longitud de cola (m)	LOS (HCM-2010)	LOS (Mopt)
Synchro	18,2	10,9	C	B	13,1	7,5	B	B
Metodologia HCM-2010	19	9	C	B	16	4	C	B
Datos de Campo Max	183	68	F	F	183	68	F	F
Datos de Campo Prom	36	-	E	D	36	-	E	D

Tabla 76. Cuadro comparativo, intersección 3 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

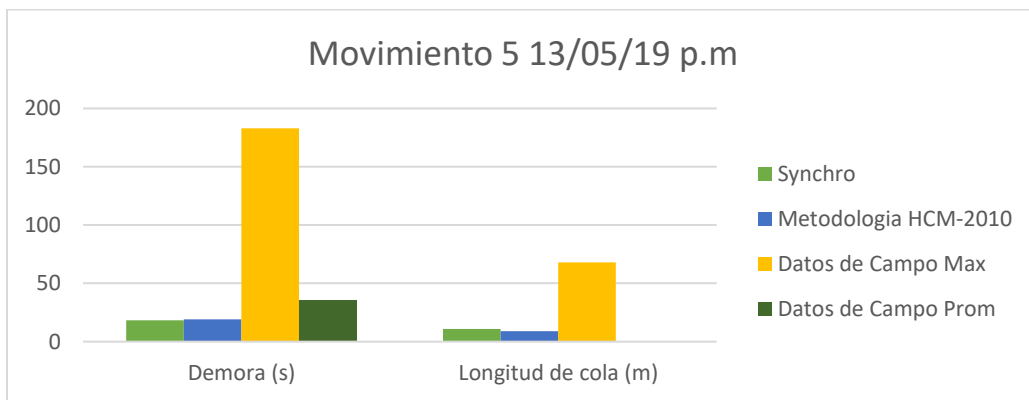


Figura 59. Gráfico comparativo de la maniobra 5 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

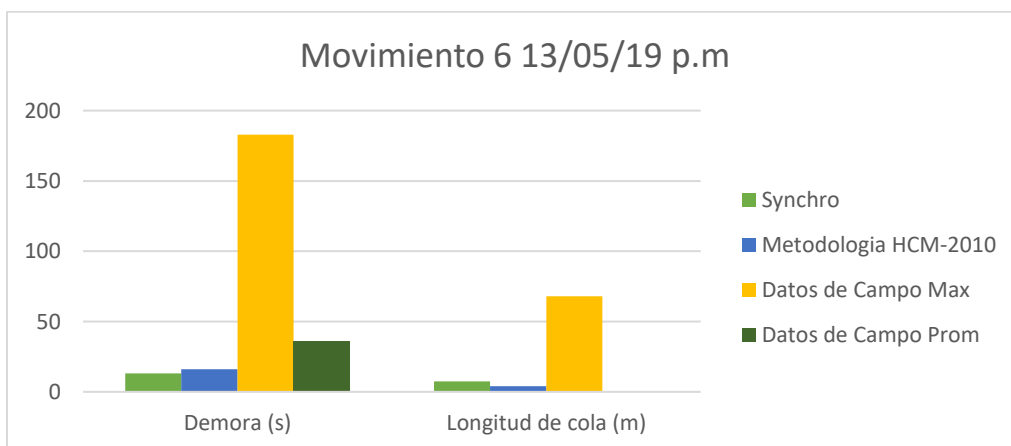


Figura 60. Gráfico comparativo de la maniobra 6 en la intersección 3 para el lunes 13/05/19 p.m.

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

En el presente enunciado, se presentarán las conclusiones obtenidas a partir del análisis realizado en la presente investigación de los datos obtenidos de la aplicación de la metodología del manual HCM 2010, el trabajo de campo, y de los resultados obtenidos con la aplicación del software de análisis y modelación de tránsito Synchro 8.

- A lo largo del proceso de aforo vehicular se logró observar el comportamiento vehicular de las tres intersecciones sujetas a estudio, lo cual, favorece considerablemente a la hora de obtener un punto de comparación para los resultados obtenidos mediante la aplicación de los métodos propuestos.
- A la hora de realizar el análisis de los datos obtenidos a partir de la metodología HCM2010, el software Synchro 8 y el trabajo de campo, se logra confirmar que no se presenta ninguna similitud entre las tres intersecciones sujetas a investigación.
- Los aforos vehiculares realizados en las tres intersecciones sujetas a investigación se utilizaron para obtener la información del estado de estas, en cuanto a su comportamiento en las horas pico, así como, en las colas generadas como los tiempos de demora por vehículos.
- Con base en el estudio de campo realizado, se afirma que no se presenta una correlación entre el manual HCM 2010, el software Synchro 8 y la realidad vial. Cada dato obtenido es diferente, por ende, no guardan ninguna relación entre ellos, afirmar que uno es más confiable y asertivo que otro es bastante arriesgado, no obstante, es posible afirmar que el estudio de campo es fundamental para la toma de decisiones, ya que no deja espacio para la especulación.

- Los resultados obtenidos del software Synchro 8, son realmente diferentes a los resultados de la metodología HCM 2010, asimismo, los datos mencionados anteriormente, son sumamente diferentes a los resultados de campo. La tecnología Synchro 8 tiende a presentar resultados engañosos ya que sus datos no coinciden con la realidad. El mismo, presenta tiempos de demora menores y longitudes de cola inferiores a las reales, a lo que se presenta en el estudio de campo y, por ende, podría llegar a inducir a datos erróneos, ya que, no se ajusta a la realidad en su totalidad.

## **Recomendaciones**

Con base en los datos obtenidos a lo largo del proceso de investigación y desarrollo del proyecto, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Al existir diferencias tan significativas en los resultados de un método u otro, es elemental realizar los aforos vehiculares correspondientes a cada caso, realizar, por ende, investigación de campo, para así visualizar lo que sucede en la realidad y no confiar en un programa que podría proporcionar datos erróneos.
- A su vez, resulta necesario tener presente que se debe analizar una mayor cantidad de intersecciones para enriquecer las conclusiones aquí presentadas, los cual puede ser tema sujeto a futuras investigaciones.
- A pesar de que existe una pequeña diferencia entre el software Synchro 8 y la metodología HCM 2010, se presenta la interrogante de que ¿por qué está ocurriendo esto, si en teoría el Synchro 8 se creó con base en la metodología HCM 2010?
- Realizar siempre trabajo de campo para verificar la situación real de una zona, para así, determinar con certeza las falencias presentes en la zona y así obtener datos seguros y confiables.

## Bibliografía

- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington D. C.: National Academy of Sciences
- Gómez, M.J. (2019). *Validación de la metodología del manual HCM 2010 para el análisis de capacidad de dos intersecciones, controladas por señales de alto y ceda, en San Antonio del Tejar de Alajuela*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Latina. Heredia, Costa Rica.
- Vera, Lino (2012). *Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Pontificia universidad católica del Perú. Lima, Perú.
- Jerez y Morales (2015). *Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azogues*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Mecánica Automotriz. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- Reyna, Peña (2015). *Propuesta de mejora de niveles de servicio en dos intersecciones*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010) *Metodología de la Investigación*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Cal, R, Reyes, M y Cárdenas, J. (2007) *Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones*. México, Alfaomega, S.A
- Garber, N y Hoel, L (2005) *Ingeniería de Transito y Carretera*. México, Ediciones Paraninfo S.A
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2015). *Anuario 2015*. San José: MOPT.
- Granda y Martin (2017). *Análisis de Tráfico en las principales Intersecciones del Área de Influencia de la Universidad del Azuay*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil Y gerencia de Construcciones. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.

- Instituto Mexicano de Transporte. (1985). *Manual de capacidad vial*. Querétaro.
- Cordero, F. B. (2018). *Validación de la metodología del manual de capacidad de carreteras HCM respecto a la realidad vial urbana del cuadrante del distrito de Escazú*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Latina. Heredia, Costa Rica.
- Díaz, V. F. (2009). *Análisis vial de dos intersecciones sin semáforo en zona aledaña a nuevo terrapuerto de Piura*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Mora, I. A. (2016). *Unidad III Diseño Geométrico*. Heredia: Universidad Latina de Costa Rica Facultad de Ingeniería Civil.
- Navarro Hudiel, S. (2013). *Volúmenes de Tránsito*. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua. Recuperado de: <https://www.slideshare.net/sjnavarro/volmenes-de-transito>

## Anexos

Todas las fotos corresponden al proceso de aforo vehicular realizado los días 9, 10 y 13 de mayo del 2019.













