



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

**UNIVERSIDAD LATINA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de grado

**EVALUACIÓN DE INTERSECCIONES DEL GRAN ÁREA METROPOLITANA
PARA COMPROBAR QUE LOS MODELOS DE SYNCHRO 8 SE AJUSTEN A
LA REALIDAD**

Stuard Jesús Barrientos Hernández

Heredia, enero 2019



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “EVALUACIÓN DE INTERSECCIONES DEL GRAN ÁREA METROPOLITANA PARA COMPROBAR QUE LOS MODELOS DE SYNCHRO 8 SE AJUSTAN A LA REALIDAD.”, 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. SIRLEY ALVÁREZ GONZÁLEZ
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

TUTOR

ING. DANIEL ALONSO CHACÓN OVIEDO

LECTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

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

Heredia, 19 de enero, de 2019

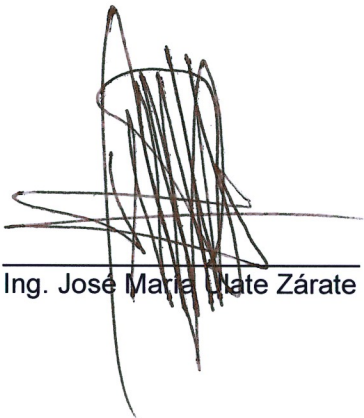
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título EVALUACIÓN DE INTERSECCIONES DEL GRAN AREA METROPOLITANA PARA COMPROBAR QUE LOS MODELOS DE SYNCHRO 8 SE AJUSTAN A LA REALIDAD por parte del estudiante: Stuard Barrientos Hernández, 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 POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 19 de enero, de 2019

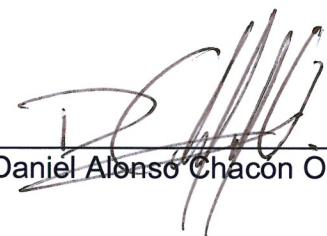
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título **EVALUACIÓN DE INTERSECCIONES DEL GRAN ÁREA METROPOLITANA PARA COMPROBAR QUE LOS MODELOS DE SYNCHRO 8 SE AJUSTEN A LA REALIDAD** por parte del estudiante: Stuard Barrientos Hernández, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

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

Suscribe cordialmente,


Ing. Daniel Alonso Chacón Oviedo

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL FILÓLOGO
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, viernes 1 de febrero de 2019


Señores
Miembros del comité de Trabajos Finales de Graduación
UNIVERSIDAD LATINA

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **“EVALUACIÓN DE INTERSECCIONES DEL GRAN ÁREA METROPOLITANA PARA COMPROBAR QUE LOS MODELOS DE SYNCHRO 8 SE AJUSTEN A LA REALIDAD”**, elaborado por el estudiante Stuard Jesús Barrientos Hernández, para optar por el grado académico de LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL.

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

Suscribe atentamente



Lcda. Fiorella Jones Abarca
1-14110971
Carné No 73600
Colegio de Licenciados y Profesores en Artes y Letras

“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 " ; "

Barrientos Hernández Stuard Jesús

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

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

EVALUACIÓN DE INTERSECCIONES DEL GRAN ÁREA METROPOLITANA PARA COMPROBAR QUE
LOS MODELOS DE SYNCHRO 8 SE AJUSTAN A LA REALIDAD

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)* Viernes, 1 del mes febrero del año 2019 a las 5:30 pm. 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:*



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a nuestro Señor Jesucristo, por haberme dotado de fuerza, valor, constancia e inteligencia; por todos los logros que a la fecha he obtenido y por ser el guía que me conduce por buen camino y me da la sabiduría, para discernir lo bueno de lo malo. A mis padres, el señor Wisel Barrientos Villalobos y la señora Elizabeth Hernández Madrigal, por el impulso otorgado para tomar el sendero del estudio y la superación personal, siempre teniendo que superar obstáculos principalmente de tipo financiero, por ser de cuna humilde y por ser siempre un ejemplo de constancia, moral y amor.

AGRADECIMIENTOS

A mis sobrinos Camila Barrientos Hernández y Esteban Barrientos Hernández, por haber realizado el levantamiento vehicular. A pesar del cansancio siguieron día con día este proceso.

A mi novia Francini Vindas Vega por dedicarle horas al proyecto y siempre ser ese impulso en mi vida.

A mi madre, la señora Elizabeth Hernández Madrigal por ser una mujer tan atenta y llena de amor, por ser tan paciente y sin duda alguna por motivarme desde niño a continuar con mis estudios. Agradezco a mi padre el señor Wisel Barrientos Villalobos por siempre ser tan luchador y trabajador, enseñando con siempre con el ejemplo y lleno de humildad.

Agradezco al Sr. Jose María Ulate Zárate por ser el tutor de este proyecto, y a Sirley Álvarez por guiarme siempre de manera amable y ser incondicional en cada momento.

*A todos (as) ellos (as),
¡Muchas Gracias!*

RESUMEN

La siguiente investigación se desarrolló en la zona de Heredia, específicamente en el centro de esta provincia. Se analizan 2 intersecciones cercanas al parque central, específicamente de las intersecciones costado sur del Liceo de Heredia, estas intersecciones son controladas por medio de señales de alto.

En primera instancia se realiza un levantamiento de la gestión vehicular con el fin de obtener el valor de la tasa de flujo y promediar la longitud de cola que presentan los accesos y medir el tiempo que tardan hasta salir de la intersección.

Al obtener los resultados de campo se procede a realizar un análisis del Manual HCM 2010 utilizando específicamente el capítulo 19, el cual presenta un listado de procedimientos que permiten calcular el percentil de la longitud de cola y el control de demora.

Se realiza el mismo análisis por medio del sistema Synchro 8 con el objetivo de demostrar que los valores obtenidos por este software se ajustan a la realidad vivida en el sector de Heredia.

Al presentarse pocos movimientos en las intersecciones analizadas, se logra apreciar que los datos obtenidos por el Manual son incorrectos y que el sistema Synchro 8 por lo general presenta resultados que se acercan más a lo analizado en el campo, pero sin ser totalmente precisos.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	10
Resumen	11
Introducción	22
A. Antecedentes.....	22
B. Planteamiento del problema de investigación:	25
C. Objetivos.....	25
i. Objetivo general.....	25
ii. Objetivos específicos.....	25
D. Justificación de la investigación.....	26
E. Alcances y limitaciones.....	27
1. Capítulo I. Marco Teórico	29
1.1. Primeras vías.....	29
1.2. Elementos del tráfico vehicular	33
1.2.1. Usuario:.....	33
1.2.2. Vehículo:	34
1.2.3. Vía.....	38
1.3. Funciones de la red vial	39
1.4. Elementos de la carretera.....	40
1.5. Velocidad.....	43
1.5.1. Velocidad de punto	44
1.5.2. Velocidad media temporal.....	44
1.5.3. Velocidad media espacial.....	45
1.5.4. Velocidad de recorrido	45
1.5.5. Velocidad en marcha	46

1.5.6.	Velocidad de proyecto.....	46
1.6.	Flujo vehicular.....	46
1.7.	Relación densidad-flujo vehicular	48
1.7.1.	Flujo ininterrumpido.....	50
1.7.2.	Flujo interrumpido	51
1.8.	Volumen vehicular	51
1.9.	Congestión vial	52
1.10.	Causas del congestionamiento vial	53
1.10.1.	Factores de corto plazo	54
1.10.2.	Factores de largo plazo	55
1.11.	Análisis de flujo vehicular	56
1.12.	Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)	57
1.12.1.	Flujo de intersección controlado por altos.....	58
1.13.	Synchro	78
2.	Capítulo II Marco Metodológico.....	79
2.1.	Definición del enfoque y método de investigación	79
2.2.	Tipo de estudio	79
2.3.	Enfoque cualitativo	79
2.4.	Muestra.....	80
2.5.	Instrumentos y técnicas utilizadas en la recopilación de datos.....	80
3.	Capítulo III Análisis de resultados	82
3.1.	Análisis de la gestión vehicular.....	82
3.1.1.	Intersección #1 Avenida central – calle 3.....	82
3.1.2.	Intersección #2 Avenida central – calle 1	86
3.2.	Análisis del procedimiento HCM 2010.....	90

3.2.1. Intersección #1	90
3.2.2. Intersección # 2.....	98
3.3. Análisis del SYNCHRO.....	104
3.3.1. Evaluación 1.....	105
3.3.2. Evaluación 2.....	108
3.3.3. Evaluación 3.....	111
3.3.4. Evaluación 4.....	115
3.4. Comparación de metodologías	118
4. Conclusiones.....	124
5. Recomendaciones.....	125
6. Referencias Bibliográficas.....	126

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<u>Contenido</u>	<u>PÁGINA</u>
ILUSTRACIÓN 1 DENSIDAD DE LA POBLACIÓN COSTARRICENSE.	23
ILUSTRACIÓN 2 PORCENTAJE DE VIVIENDAS CON VEHÍCULO PARTICULAR EN COSTA RICA Y LA GAM.....	24
ILUSTRACIÓN 3 MAPA DE LA RUTA DEL "CAMINO REAL PERSA"	30
ILUSTRACIÓN 4 POSIBLE RUTA DEL CAMINO DE MULAS	32
ILUSTRACIÓN 5 ESTACIÓN DEL TREN EN RIO GRANDE DE ATENAS	32
ILUSTRACIÓN 6 FACTORES QUE INCIDEN EN LA FRECUENCIA DE ACCIDENTES	33
ILUSTRACIÓN 7 VEHÍCULO DE CARGA LIVIANA	35
ILUSTRACIÓN 8 DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULO CON DOBLE EJE	36
ILUSTRACIÓN 9 DISTRIBUCIÓN VEHÍCULO DE 3 EJES	36
ILUSTRACIÓN 10 DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULO DE 5 EJES	37
ILUSTRACIÓN 11 REVERSIBILIDAD EN RUTA 27	39
ILUSTRACIÓN 12 DISTRIBUCIÓN DE LINEAMIENTOS EN PLANTA DE UNA CARRETERA.	41
ILUSTRACIÓN 13 DISEÑO GEOMÉTRICO EN PERFIL LONGITUDINAL.....	42
ILUSTRACIÓN 14 DETALLE GENERAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS CARRETERAS	43
ILUSTRACIÓN 15 PATRÓN URBANO DE DEMANDA VEHICULAR Y OFERTA VIAL.....	48
ILUSTRACIÓN 16 RELACIÓN PARABÓLICA ENTRE FLUJO Y DENSIDAD	49
<i>ILUSTRACIÓN 17 CONGESTIONAMIENTO VIAL.....</i>	53
ILUSTRACIÓN 18 PRESAS EN CARRETERAS DE COSTA RICA	53
ILUSTRACIÓN 19 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CONCEPTO DE LA CONGESTIÓN DE TRÁNSITO.....	54
ILUSTRACIÓN 20 ÚNICO ACCESO SAN JOSE – HEREDIA.....	55
ILUSTRACIÓN 21 INTERSECCIÓN DE CUATRO PATAS CONTROLADA POR SEÑAL DE ALTO.....	59

ILUSTRACIÓN 22 TASAS DE FLUJO CONFLICTIVAS PARA MOVIMIENTOS DE RANGO 2 – GIRO A LA IZQUIERDA PRINCIPAL.	62
ILUSTRACIÓN 23 TASAS DE FLUJO CONFLICTIVAS PARA MOVIMIENTOS DE RANGO 2 – GIRO A LA DERECHA SECUNDARIA.....	63
ILUSTRACIÓN 24 TASAS DE FLUJO CONFLICTIVAS PARA MOVIMIENTOS DE RANGO 3.	64
ILUSTRACIÓN 25 TASAS DE FLUJO CONFLICTIVAS PARA MOVIMIENTOS DE RANGO 4.	65
ILUSTRACIÓN 26 BOLSILLO DE GIRO A LA IZQUIERDA PRINCIPAL	71
ILUSTRACIÓN 27 CARRIL DE GIRO A LA DERECHA ENSANCHADO.	73
ILUSTRACIÓN 28 INTERSECCIÓN #1 AVENIDA CENTRAL – CALLE 3	83
ILUSTRACIÓN 29 MOVIMIENTOS DE LA INTERSECCIÓN #1	84
<i>ILUSTRACIÓN 30 INTERSECCIÓN #2 AVENIDA CENTRAL – CALLE 1</i>	<i>87</i>
ILUSTRACIÓN 31 MOVIMIENTOS DE LA INTERSECCIÓN #2	88
<i>ILUSTRACIÓN 32 VISTA EN PLANTA DE LA EVALUACIÓN 1</i>	<i>105</i>
ILUSTRACIÓN 33 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 1 - EVALUACIÓN 1.....	106
ILUSTRACIÓN 34 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 5 - EVALUACIÓN 1.....	106
ILUSTRACIÓN 35 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 1 - EVALUACIÓN 1.....	107
ILUSTRACIÓN 36 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 5 - EVALUACIÓN 1.....	107
ILUSTRACIÓN 37 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 1 - EVALUACIÓN 1.....	108
ILUSTRACIÓN 38 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 2 - EVALUACIÓN 1.....	108
ILUSTRACIÓN 39 VISTA EN PLANTA DE LA EVALUACIÓN 2	108
ILUSTRACIÓN 40 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 2 - EVALUACIÓN 2.....	109

ILUSTRACIÓN 41 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 6 - EVALUACIÓN 2.....	109
ILUSTRACIÓN 42 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 2 - EVALUACIÓN 2.....	110
ILUSTRACIÓN 43 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 6 - EVALUACIÓN 2.....	110
ILUSTRACIÓN 44 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 1 - EVALUACIÓN 2.....	111
ILUSTRACIÓN 45 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 2 - EVALUACIÓN 2.....	111
ILUSTRACIÓN 46 VISTA EN PLANTA DE LA EVALUACIÓN 3	111
ILUSTRACIÓN 47 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 3 - EVALUACIÓN 3.....	112
ILUSTRACIÓN 48 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 7 - EVALUACIÓN 3.....	113
ILUSTRACIÓN 49 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 3 - EVALUACIÓN 3.....	113
ILUSTRACIÓN 50 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 7 - EVALUACIÓN 3.....	114
ILUSTRACIÓN 51 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 1 - EVALUACIÓN 3.....	114
ILUSTRACIÓN 52 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 2 - EVALUACIÓN 3.....	115
ILUSTRACIÓN 53 VISTA EN PLANTA DE LA EVALUACIÓN 4	115
ILUSTRACIÓN 54 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 4 - EVALUACIÓN 4.....	116
ILUSTRACIÓN 55 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRILES DEL AFORO 8 - EVALUACIÓN 4.....	116
ILUSTRACIÓN 56 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 4 - EVALUACIÓN 4.....	117

ILUSTRACIÓN 57 CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN VEHICULAR DEL AFORO 8 - EVALUACIÓN 4.....	117
ILUSTRACIÓN 58 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 1 - EVALUACIÓN 4.....	118
ILUSTRACIÓN 59 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN 2 - EVALUACIÓN 4.....	118
ILUSTRACIÓN 60 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 1	119
ILUSTRACIÓN 61 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 2	120
ILUSTRACIÓN 62 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 3	120
ILUSTRACIÓN 63 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 4	121
ILUSTRACIÓN 64 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 5	121
ILUSTRACIÓN 65 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 6	122
ILUSTRACIÓN 66 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 7	122
ILUSTRACIÓN 67 COMPARACIÓN DE EVALUACIONES AFORO 8	123

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS POR EJE VEHICULAR	37
TABLA 2 FACTOR DE AVANCES CRÍTICOS PARA INTERSECCIONES	
CONTROLADAS CON ALTO	67
TABLA 3 FACTOR DE AVANCE DE SEGUIMIENTO PARA INTERSECCIONES	
CONTROLADAS CON ALTO	68
TABLA 4 INTERVALOS CRÍTICOS Y DE SEGUIMIENTO	69
TABLA 5 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #1</i>	84
TABLA 6 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #2</i>	84
TABLA 7 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #3</i>	85
TABLA 8 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #4</i>	85
TABLA 9 LONGITUD DE COLA Y RETRASO DE CONTROL DE CAMPO -	
INTERSECCIÓN 1	86
TABLA 10 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #5</i>	88
TABLA 11 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #6</i>	88
TABLA 12 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #7</i>	89
TABLA 13 <i>VOLUMEN VEHICULAR - AFORO #8</i>	89
TABLA 14 LONGITUD DE COLA Y RETRASO DE CONTROL DE CAMPO -	
INTERSECCIÓN 2	89
TABLA 15 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y	
PHF – AFORO 1	90
TABLA 16 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y	
PHF – AFORO 2	90
TABLA 17 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y	
PHF – AFORO 3	91
TABLA 18 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y	
PHF – AFORO 4	91
TABLA 19 TASAS DE FLUJO VEHICULAR – INTERSECCIÓN 1	91
TABLA 20 TASA DE FLUJO CONFLICTIVA – INTERSECCIÓN 1	92
TABLA 21 <i>CAPACIDADES POTENCIALES – INTERSECCIÓN 1</i>	92
TABLA 22 <i>CAPACIDADES DE MOVIMIENTO - RANGO 2 – INTERSECCIÓN 1</i>	93
TABLA 23 <i>CAPACIDAD DE MOVIMIENTO RANGO 3 – INTERSECCION1</i>	93
TABLA 24 <i>CAPACIDAD DE CARRIL COMPARTIDO CARRETERA SECUNDARIA –</i>	
INTERSECCIÓN 1	94

TABLA 25 RETRASO DE CONTROL Y LONGITUD DE COLA PROMEDIO PARA CARRETERA SECUNDARIA – INTERSECCIÓN 1	94
TABLA 26 ÁREA DE ALMACENAMIENTO MÁXIMO PARA BORDILLO DE GIRO EXCLUSIVO - INTERSECCIÓN 1	95
TABLA 27 CAPACIDAD DE GIRO A LA DERECHA MENOR EN CARRIL SEPARADO - INTERSECCIÓN 1	95
TABLA 28 CAPACIDAD DE MOVIMIENTO FINAL PARA LA CARRETERA MENOR - INTERSECCIÓN 1	96
TABLA 29 CONTROL DE RETRASO PARA MOVIMIENTOS INFERIORES A RANGO 1 – INTERSECCIÓN 1	96
TABLA 30 CONTROL DE RETRASO PARA MOVIMIENTOS RANGO 1 – INTERSECCIÓN 1	96
TABLA 31 CONTROL DE DEMORA CARRETERA PRINCIPAL - INTERSECCIÓN 1	97
TABLA 32 CONTROL DE RETRASO DE LA INTERSECCIÓN 1	97
TABLA 33 PERCENTIL DE COLAS - INTERSECCIÓN 1	97
TABLA 34 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y PHF – AFORO 5	98
TABLA 35 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y PHF – AFORO 6	98
TABLA 36 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y PHF – AFORO 7	98
TABLA 37 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS, VOLUMEN TOTAL POR HORA Y PHF – AFORO 8	98
TABLA 38 TASAS DE FLUJO VEHICULAR – INTERSECCIÓN 2	99
TABLA 39 TASA DE FLUJO CONFLICTIVA - AFORO 2	99
TABLA 40 CAPACIDADES POTENCIALES – INTERSECCIÓN 2	100
TABLA 41 CAPACIDADES DE MOVIMIENTO RANGO 3 – INTERSECCIÓN 2	100
TABLA 42 CAPACIDADES DE MOVIMIENTO RANGO 4 – INTERSECCIÓN 2	101
TABLA 43 CAPACIDAD DE CARRIL COMPARTIDO CARRETERA SECUNDARIA – INTERSECCIÓN 2	101
TABLA 44 EFECTO DE GIRO A LA DERECHA – INTERSECCIÓN 2	102
TABLA 45 CONTROL DE RETRASO PARA MOVIMIENTOS INFERIORES A RANGO 1 – INTERSECCIÓN 2	103
TABLA 46 CONTROL DE RETRASO DE LA INTERSECCIÓN 2	103

TABLA 47 PERCENTIL DE COLAS - INTERSECCIÓN 2.....	104
TABLA 48 ANÁLISIS DE RESULTADOS MANUAL HCM 2010	118
TABLA 49 ANÁLISIS DE RESULTADOS SYNCHRO 8	118
TABLA 50 ANÁLISIS DE CAMPO.....	119

INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes

El incremento masivo de vehículos en vías públicas crea un congestionamiento en las ciudades más pobladas del país, esta congestión provoca estrés e impaciencia en el usuario trayendo consigo accidentes e incluso muertes en nuestras vías. Es por este motivo que se realizaron cambios importantes tanto a nivel legislativo como social, implementando el reglamento para el servicio de automóviles en la ciudad de San José (1910) y la primera ley de tránsito publicada en 1926.

Según lo nombrado, el país cuenta con amplia experiencia por lo que el congestionamiento no es un fenómeno nuevo presentado en las principales ciudades, pero en las vías sigue visible el grave problema que vivimos en horas pico y si a esto le sumamos la inadecuada inversión en infraestructura vial incrementa seriamente este problema.

Los mayores inconvenientes que genera este número masivo de vehículos en las vías son un incremento de los tiempos de llegada, aumento en el consumo de combustibles, incomodidad física y psicológica, además de un deterioro notable en la calidad de aire y el aumento des controlable del congestionamiento vial.

El aumento de este volumen vehicular se debe a diversos fenómenos como lo son el incremento de la familia costarricense, el fácil acceso a líneas de crédito que permiten obtener el vehículo de manera casi inmediata, precios bajos en vehículos y la gran importación de vehículos usados.

Según la consistencia de población y acumulación en distintos pueblos, la gran densidad de vías existentes y los datos de las encuestas realizadas a lo largo del país concluyen que existe a nivel nacional una gran concentración de infraestructura vial, transporte y ordenamiento territorial en la GAM, generando que la mayoría de concentración vehicular se encuentren en el valle central (Loría, 2014)

En la figura 1 se puede mostrar claramente los datos obtenidos por el INEC en el 2011 con la concentración de población a nivel nacional, se observa que la mayoría de la población se ubica en la GAM, que abarca aproximadamente un 52,7% de la población en un territorio del 3,8% del territorio nacional. Debido a esto se presenta una gran acumulación de personas en un área muy pequeña del país, en los cantones como San José, Alajuelita, Curridabat, Montes de Oca, Tibás y alrededores.

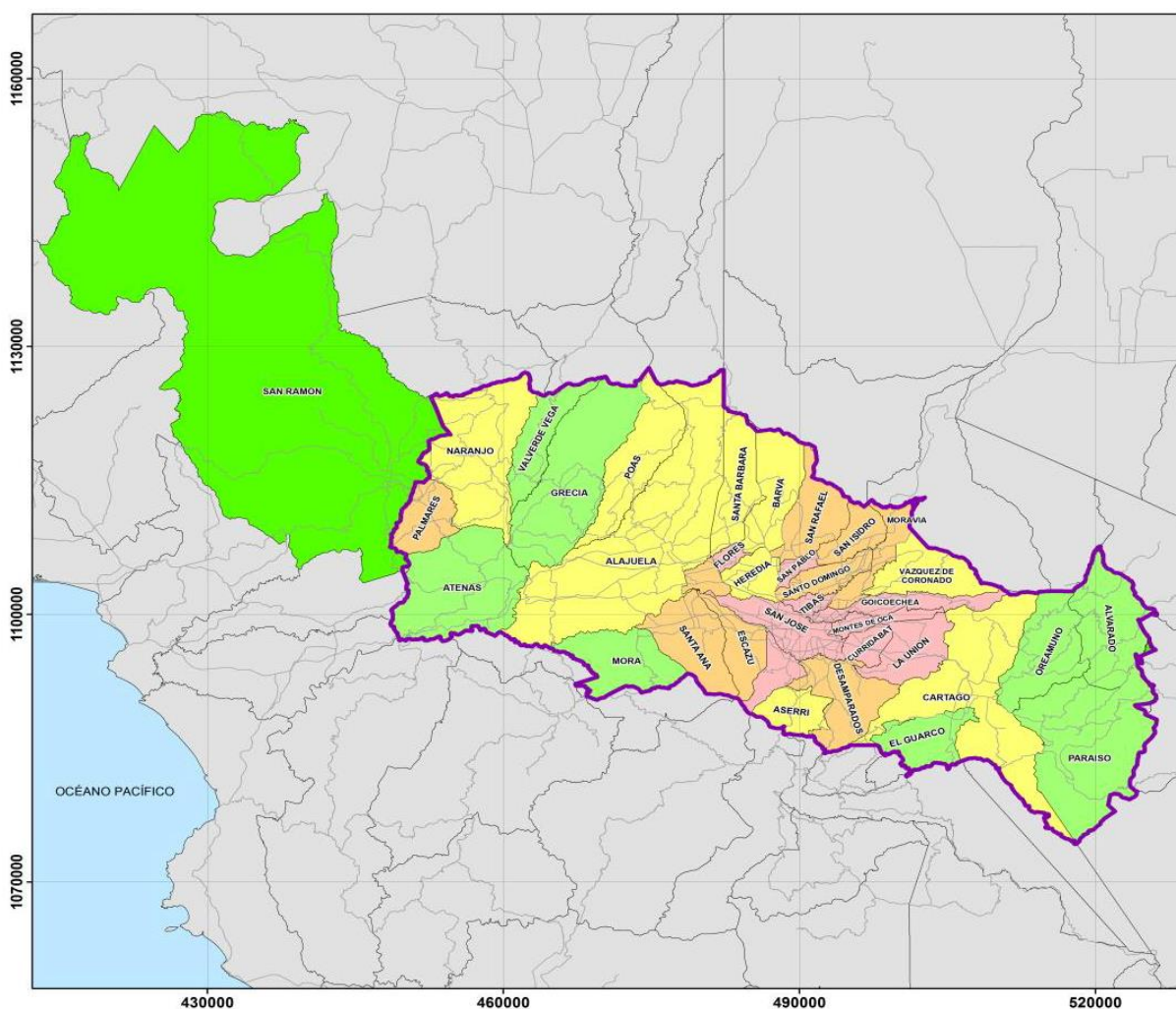


Ilustración 1 Densidad de la población costarricense

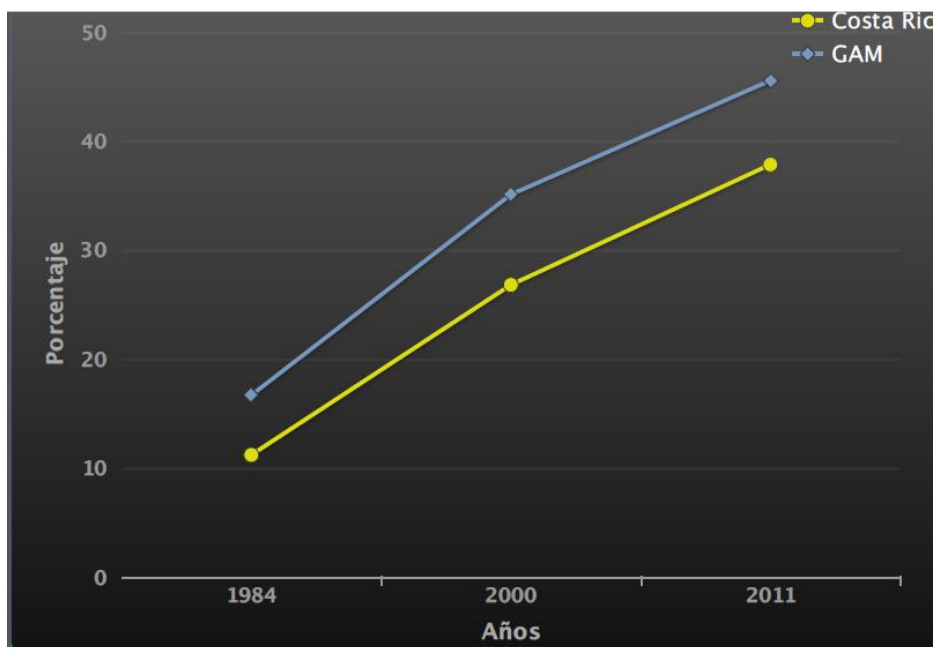
Fuente: Loría Salazar, L. G. (2014)

El país presenta en la gran área metropolitana una numerosa cantidad de vías, imposibilitando una capacidad física de expandirse y si a esto agregamos

que el desarrollo urbanístico de la nación se encuentra focalizado en estas zonas, genera que la mayoría de las vías colapsen.

En los últimos años, la cantidad de vehículos que circulan en la GAM sigue aumentando, esto debido a que la organización del sistema de transporte a nivel nacional da prioridad al vehículo privado, dejando prácticamente de lado al transporte público. La nación lamentablemente no decidió invertir en fuentes de transportes publicas alternas como el tranvía o metro, por el contrario, la mala decisión en gobiernos anteriores de deshabitar el tren genera que el usuario prefiera darse el gusto de viajar en vehículos de uso personal.

En la ilustración 2 se demuestra que para el año 2011 cerca del 45% de las viviendas poseen vehículos propios, generando así solamente en el área metropolitana un 38% de la concentración vehicular. El incremento económico y el fácil financiamiento de vehículos son el motor que impulsa al ciudadano a preferir el transporte privado, sin mencionar el ahorro de tiempo y la decisión de la ruta de



preferencia para llegar al destino.

Ilustración 2 Porcentaje de viviendas con vehículo particular en Costa Rica y la GAM

Fuente: Loría Salazar, L. G. (2014).

Según el informe titulado “Congestionamiento del flujo vehicular en el GAM de San José” (2006), señala que la distribución modal estudiada en el área metropolitana presenta un periodo de aumento vehicular entre las 7:00 am y 8:00 am generalmente distribuido en 75% autobuses, 19,5% vehículos y 5,5% en taxi.

B. Planteamiento del problema de investigación:

La presente investigación pretende evidenciar como el gran incremento del congestionamiento vial en distintos sectores de la gran área metropolitana, en nuestro caso el sector de Heredia, demuestra uno de los principales problemas que presenta el país, el congestionamiento vial. Debido a que el mismo origina conflictos en las vías y al mismo tiempo genera estrés en el usuario y con ello, accidentes de tránsito y caos vial.

Con el fin de mejorar la seguridad vial y evitar grandes colas debido al volumen vehicular, se busca demostrar que tan eficiente es implementar el software SYNCRHO 8 a nivel nacional y utilizar sus resultados para realizar una debida distribución vehicular.

Debido a que este programa se basa en interpretaciones tomadas del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010), se busca comparar resultados obtenidos por ambos métodos, con el fin de demostrar que dicho programa se ajusta a la realidad vivida en nuestro país

¿Es favorable limitarse a los datos obtenidos del programa SYNCHRO 8?
¿Se pueden obtener resultados reales de este software a nivel nacional?

C. Objetivos

i. Objetivo general

Evaluar si los resultados obtenidos del programa SYNCHRO 8 se ajustan a la realidad vivida en las vías de la gran área metropolitana.

ii. Objetivos específicos

- Establecer un levantamiento de la gestión vehicular de varias intersecciones de la gran área metropolitana.

- Examinar los datos obtenidos en el software SYNCHRO 8.
- Analizar los procedimientos establecidos en el Manual de Capacidades de Carreteras 2010.
- Demostrar si los resultados obtenidos del software SYNCHRO 8 son reales.

D. Justificación de la investigación

Un ineficiente diseño y una inadecuada distribución vehicular, además de semáforos no vinculados, dan origen al congestionamiento innecesario, como también lo provocan vías en deterioro, falta de demarcación vial, cambios súbitos en el número de carriles, falta de espaldones para estacionamiento de autobuses provocan una alteración en el flujo vehicular.

El caos que presentan nuestras vías al llegar a su capacidad máxima es evidente; las largas colas que se viven empeoran día a día y el buscar rutas alternas muchas veces involucra a un gasto innecesario del combustible. La larga espera genera estrés e inclusive podría provocar un mal rendimiento del usuario en sus quehaceres diarios.

Muchos de estos congestionamientos se deben, además de lo ya mencionado, a la falta de paciencia de cientos de usuarios que al desear llegar rápido a su destino muestran poco respeto a conductores que comparten la vía. Ya sea invadiendo vías o bloqueando intersecciones para evitar semáforos en rojo, añadiendo a este que por lo general se es escaso de parqueaderos fijos para taxis, los mismos optan por viajar lentamente en busca de pasajeros. En el caso de autobuses muchas veces invaden intersecciones evitando el flujo vehicular por estas.

Al analizar todos estos factores se es evidente que es un problema de gran seriedad, es por esta razón que se requiere de soluciones partiendo desde sus bases como en educación vial, mejoramiento de su infraestructura, en especial un

mantenimiento de la carpeta de rodamiento y sin duda una adecuada gestión vehicular.

Es indispensable sacarle el máximo aprovechamiento a la infraestructura vial de nuestro país ya que este es el medio que se utiliza como motor de nuestras vidas, sin él se nos haría casi imposible llegar a nuestros destinos, provocando una vida sedentaria al impedir desplazarse a distintos sectores del país.

Es por esto que se realizara un análisis de los resultados que logramos obtener del programa digital SYNCHRO 8, ya que si la misma no se ajusta a la realidad vivida en el país es imposible utilizar este medio para analizar posibles mejoras en la gestión vial. Por lo que no solo se comparara con las realidades estudiadas en las vías, sino que además se realizaran los distintos procedimientos enlistados en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010) para determinar la manera más adecuada de gestión vial.

E. Alcances y limitaciones

Para alcanzar los objetivos establecidos se evaluarán vías que presentan gran congestionamiento en horas pico, abarcando las dos intersecciones en la entrada principal del Liceo de Heredia, intersección 1 avenida central – calle 3, intersección 2 avenida central – calle 1, con el fin de cubrir el sector central de Heredia, evaluando el volumen vehicular y la capacidad máxima que presentan estas intersecciones.

Se realizarán dos conteos diarios por intersección, abarcando tanto horas pico en la mañana como en la tarde, efectuando aforos vehiculares durante un periodo de dos horas, para determinar la realidad que se vive en estas vías, calculando la longitud de cola y demora, además de determinar las variables que presentan en su flujo libre.

Se analizarán las mismas intersecciones implementando el modelo obtenido del software Synchro 8, recopilándolo con la información obtenida en el

campo con el objetivo de comparar los resultados con los cálculos que se enlistan en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010).

Con el desarrollo de este proyecto no se presentará una redistribución o definir posibles mejoras que beneficien estas intersecciones, sino solamente se evaluará su capacidad con el fin de demostrar la efectividad del software Synchro.

1. CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Primeras vías

A medida que pasan los años la evolución del ser humano no deja de impactar a científicos. Se dice que al menos hace 100.000 años el ser humano existe en la Tierra. Miles de años después, en Mesopotamia, con la ingeniosa invención de la rueda, se tuvo la necesidad de crear superficies por las cuales se permitiera una circulación más eficiente y a menor esfuerzo.

Con el paso de los años y el crecimiento de la población, las primeras ciudades se originan, trayendo consigo la creación de diversos centros políticos, culturales y económicos, y con esto se da inicio a la fomentación de crear caminos que logre unir distintos puntos distantes con interés de relacionarse con otros poblados y de paso intercambiar productos.

Alrededor del tercer milenio A.C. civilizaciones como Egipto, Mesopotamia y valle del Indo se dan paso a la construcción de los primeros caminos para el tránsito de animales de carga, y al paso de los años permite el transporte de los primeros vehículos rodados. Con el tiempo otras civilizaciones deciden elaborar sus propias vías, como lo es el caso de los persas que implementaron en la unión de caminos existentes a lo largo de un tramo de 2500 km conocido como “Camino Real” (Pellegrini, 2012).

El geógrafo alemán Ferdinand Freiherr Von Richthofen nombro como “Ruta de la Seda” a una red de rutas comerciales en las cuales China se veía favorecida, pues, los chinos, alrededor del siglo I A.C. eran los únicos con el secreto de la producción de este material (Uribe, 2015). Como se muestra en la imagen siguiente, la ruta abarca regiones como Mongolia, Pakistán, Siria, Egipto, Turquía y a su principal consumidor Persia



Ilustración 3 Mapa de la Ruta del "Camino Real Persa"
Fuente: (Arias, 2013)

Sin duda un imperio que sobresale por la construcción de calzadas alrededor de los años 312 a.C. es el Imperio Romano, cuyos gobernantes decidieron iniciar con la construcción de estas vías con el objetivo de gobernar y controlar la región. Dicho de otra manera, la inmensa inversión que presentó el imperio Romano en sus vías tenía como fin una cuestión política, por la cual existiera un medio que permitiera una circulación de legiones y ordenes rápidamente (Blanco, 2014).

Siglos después estas rutas serían intransitables debido a la caída del Imperio Romano, abandonando cualquier mantenimiento que este requiriera. Con la formación de nuevas naciones se vieron en la tarea de realizar reparaciones para garantizar un tránsito más estable, pero el incremento de asaltos originó inseguridad entre los comerciantes que preferían estas rutas, optando por buscar nuevos métodos como rutas marítimas y fluviales.

A nivel nacional, alrededor de los siglos XVI Costa Rica continuaba siendo una provincia de la Capitanía General de Guatemala, siendo una de las provincias de menor importancia económica, es por esto que en el país se veía prácticamente imposible transitar en carreta de bueyes ya que no se presentaban caminos adecuados para carruajes de mayor calado.

El principal método de transporte en esos tiempos fue la mula ya que era el único medio que podía transitar por los escasos caminos que presentaba esta provincia. Para el año 1601 la Real Audiencia de Guatemala ordena al gobernador Gonzalo Vázquez de Coronado abrir la ruta colonial conocida como “Camino de mulas” con el objetivo de conectar Cartago con el reino de Tierra Firme. (Amador Z.)

La mayor concentración mulera que se encontraba en América para el siglo XVI se ubicaba en Panamá, por lo que Amador afirma:

Las mulas eran muy bien pagadas en Panamá; en un principio venían por tierra desde Honduras, Nicaragua y Nicoya hasta Caldera, desde donde eran transportadas por mar hasta Panamá. Pero debido a que los barcos que se utilizaban generalmente estaban en malas condiciones y tenían que hacer frente a continuos ataques de piratas, por lo que muchas veces el cargamento se perdía, la Audiencia de Guatemala, a pedido de los comerciantes centroamericanos, ordenó al Gobernador de Costa Rica, Gonzalo Vázquez de Coronado, que iniciara, con ayuda de los vecinos de Cartago, su construcción. (p.77)

En la imagen 4 se representa la posible Ruta de mulas implementada en el País para conectar Cartago con Panamá, al paso de los años se aprovecha esta ruta para comunicarse con poblados de Nicaragua.

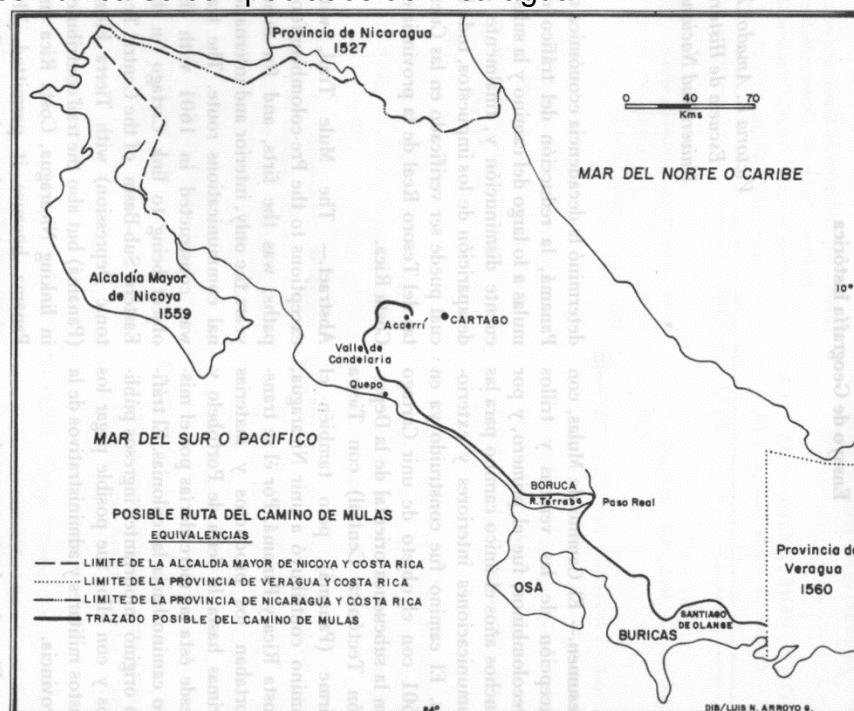


Ilustración 4 Posible Ruta del Camino de Mulas

Fuente: (Amador Z.)

Con la decaída del comercio de mulas, a principios del siglo XIX en el país explota la comercialización del café, proporcionando al pueblo costarricense acarreadores hacia poblaciones de la provincia de Puntarenas por medio de escasas vías demorando hasta semanas, con la presencia de lluvias entre los meses de mayo y noviembre hacían imposible el tránsito por estos sectores, ya que la gran cantidad de agua acumulada generaba lesiones en los animales que acarreaban el producto. (Hernández, 2014)

Es por este motivo que el sector de Puntarenas pierde considerablemente el trasiego acostumbrado ya que se prefería optar por la vía ferroviaria hacia el Caribe donde los mercados europeos eran más accesibles y a menor costo. En la imagen se puede mostrar la gran acumulación de carretas esperando abordar el ferrocarril hacia Puntarenas, por lo que el comercio en este sector no se vio



afectado por completo.

Ilustración 5 Estación del tren en Rio Grande de Atenas

Fuente: (Hernández, 2014)

Al paso de los años, Costa Rica generaba sus ingresos mediante la exportación de banano, piña y café, conforme la nación iba incrementando su economía, varios inversionistas cafetaleros decidieron invertir en el diseño de caminos para mantener un control de comercio interno, como lo es el caso de la población de Palmares la cual se caracterizaba por la producción de tabaco y al igual que otras provincias del país tenían la necesidad de exportar su mercancía a nivel nacional.

1.2. Elementos del tráfico vehicular

Todo ingeniero debe comprender que el tráfico vehicular está compuesto por 3 elementos básicos: usuario, vehículos y vías, y para poder desarrollar un sistema eficiente y seguro se debe conocer las características y limitaciones de cada una de ellas además entender cómo se relacionan e interactúan entre sí.

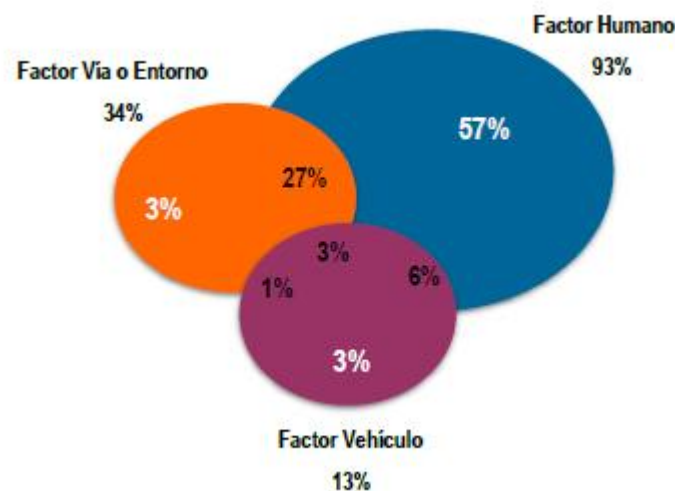


Ilustración 6 Factores que inciden en la frecuencia de accidentes
Fuente: (AASHTO, 2010)

1.2.1. Usuario:

Es de vital importancia considerar el factor del usuario al referirse a ingeniería de tránsito, este está relacionado directamente con los peatones y conductores.

Con excepción de las autopistas, en cualquier otra vía son compartidas por los peatones y vehículos. La mayoría de los accidentes sufridos por peatones se debe a que los mismos no respetan las zonas destinadas para ellos, mientras que el comportamiento que influye en el conductor a la hora de sufrir un accidente puede ser causado por fatiga, enfermedades, efectos bajo una droga, el clima, la visibilidad de la carretera e incluso el tiempo de reacción de la persona.

Un elemento fundamental que todo conductor debe tener es la percepción visual, Garber & Hoel (2002) afirman:

Debe considerarse que el ojo humano no es muy eficiente para estimar el valor absoluto de la velocidad, la distancia, el tamaño y la aceleración. Esta es la razón por la cual los dispositivos de control de tránsito tienen un tamaño, una forma y un color estandarizados. La estandarización ayuda no solamente para la estimación de la distancia, sino también al conductor daltónico para identificar señales. (p.38)

En todo diseño vial es de vital importancia reconocer el proceso de percepción – reacción, ya que es donde el usuario toma decisiones que podrían salvar su vida, en primera instancia el usuario percibe lo acontecido, ya sea una señal, accidente o invasión en la vía, como reacción natural el cerebro identifica lo que sucede para luego estimular el cuerpo produciendo una emoción en la cual decide que acción tomar por consiguiente reaccionar al hecho.

Por otra parte, el peatón es uno de los factores con gran importancia a la hora del diseño vial, ya que se debe de considerar la ubicación de los dispositivos de control como lo son señales, zonas de seguridad, islas en intersecciones, puentes peatonales e incluso es importante detallar el tiempo de caminata para programar semáforos peatonales.

1.2.2. Vehículo:

Para determinar el diseño geométrico de las carreteras es indispensable tener en cuenta las dimensiones y características que los vehículos presentan, ya que con él se definirá el ancho del carril, además del ancho de estacionamiento y de cuneta, aparte se puede visualizar el radio de giro que varía según el vehículo que estamos evaluando. Para efectos del diseño transversal es importante

reconocer el peso que pasara sobre esa vía, dependiendo de la capacidad que necesite soportar la vía se diseñaran los espesores de su sección transversal.

Para efectos del dimensionamiento en el país ya se cuenta con reglamentos que definen el ancho mínimo de carril y demás factores que necesite la vía. Para simplificar su estudio los vehículos se han clasificado según sus pesos y dimensiones con el fin de permitir un estudio universal de los mismos, ya que clasificarlos según su marca y modelo resulta prácticamente imposible.

El ente encargado de dar la clasificación oficial vehicular es la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT), por lo que Ulloa, Allen, Badilla y Sibaja (2007) resumen:

- Liviano: automóviles para personas, vehículo tipo *jeep*, vans.
- Buses: todos los buses que tienen doble llanta en la parte de atrás (hay buses sin doble llanta, se tienen que tomar en cuenta por separado).
- Carga liviana: *pick-ups*, carros acondicionados para cargas pequeñas. Se refiere a la clasificación usada, no necesariamente a vehículos que tienen la placa carga liviana.



Ilustración 7 Vehículo de carga liviana
Fuente: (Ulloa, Allen, Badilla, & Sibaja , 2007)

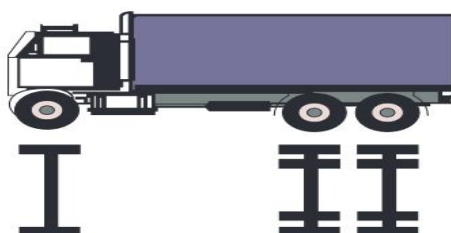
- Vehículos de 2 ejes: incluye todos los camiones con dos ejes, doble llanta



en la parte de atrás.

Ilustración 8 Distribución de vehículo con doble eje
Fuente: (Ulloa, Allen, Badilla, & Sibaja, 2007)

- Vehículo de 3 ejes: incluye todos los camiones con tres ejes, dos ejes de



doble llanta en la parte de atrás.

Ilustración 9 Distribución vehículo de 3 ejes
Fuente: (Ulloa, Allen, Badilla, & Sibaja, 2007)

- Camiones de 5 ejes: incluye tracto camiones (furgones), dos parejas de



dos ejes con doble llanta.

Ilustración 10 Distribución de vehículo de 5 ejes
Fuente: (Ulloa, Allen, Badilla, & Sibaja, 2007)

El Reglamento de Circulación por Carretera sufre varias modificaciones a partir del 19 de enero del 2005, con base respecto al peso y las dimensiones de los vehículos de carga, limitando su circulación en base a pesos máximos permitidos por ejes de tránsito, como se resume en la siguiente tabla:

Tabla 1 *Pesos máximos permitidos por eje vehicular*

Descripción de eje	Peso máximo en toneladas	Tolerancia báscula en toneladas
Eje simple delantero	6,0	0,5
Eje simple trasero	6,0	0,5
Eje simple dual	10,0	0,5
Eje doble, llanta simple	13,0	0,5
Eje doble, llantas mixtas	15,0	0,5
Eje doble, tándem	16,5	0,5
Eje triple, llantas simples	16,5	0,5
Eje triple, 2D, 1S	20,0	0,5
Eje triple, trídem	23,0	0,5

Fuente: (Ulloa, Allen, Badilla, & Sibaja , 2007)

1.2.3. Vía

Según la Real Academia Española el término vía tiene como definición la calzada construida para la circulación rodada, como también se puede expresar como parte del suelo explanado que permite la circulación por medio de carriles, pero la que más se adecua es carretera, camino o sitio por donde transita el público. (RAE, 2014)

Sin duda es un elemento fundamental por medio del cual permite el paso de vehículos, para garantizar una circulación segura y estable es necesario disponer de una superficie de ruedo preparada y que cumpla con las condiciones adecuadas, con el fin de poder genera al usuario una conducción eficaz sin que esta se presente como una tarea fastidiosa o arriesgada. Estas se pueden clasificar en términos de movilidad y accesibilidad como se detalla:

- Autopistas: calzada separada por dos o más carriles. Cal y Reyes afirman que: “Son divididas, con control total de sus accesos. Una autopista tiene control total de sus flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel” (2007, p.105).
- Carreteras Multicarriles; son carreteras que podrían estar separadas y contar con dos o más carriles, por lo general se presentan accesos por



medio de pasos a desnivel y nivel.

Ilustración 11 Reversibilidad en Ruta 27

Fuente: (Rodríguez, 2013)

- Carreteras de dos carriles: estas carreteras cuentan solamente con dos carriles, uno por cada sentido, sus intersecciones se presentan a nivel y con accesos directos a sus márgenes.

1.3. Funciones de la red vial

Como factor indispensable de las vías, es necesario que un conjunto de caminos que existen en un área determinada forme una red de varias vías conectadas entre sí, que permita la unión de dos puntos de interés dentro de una misma área limitada (Kraemer et al., 2006).

Se deduce así que las redes viales tienen dos funciones primordiales, permitir la segura circulación de manera eficaz y cómoda y permitir el acceso a cualquier punto de interés. Es por esto que, en el reglamento de espacios públicos, vialidad y transporte logra representar el tipo de vías según la función que las mismas tendrán:

- Carreteras de primer orden: son de gran interés nacional ya que logran unir entre si las principales zonas productoras y centros de actividad de otras naciones, son características por tener la función de unir largos trayectos y permitir un desplazamiento libre y estable por lo que las autopistas recaen en esta categoría. Se pretende que estas vías sean rápidas y seguras por lo que la unión a carreteras secundarias se da por medio de accesos o pasos elevados. En nuestro país son aquellas que interconectan las principales carreteras nacionales dentro de la Gran Área Metropolitana, presentando un derecho de vía de hasta 24 metros.
- Carreteras de segundo orden: Tienen como objetivo unir los distintos puntos de actividad laboral y social dentro de un área determinada, permitiendo el flujo por medio de carreteras locales. Al ser trayectos cortos o de media distancia aumenta el flujo vehicular produciendo muchas veces congestión vial. Estas vías desarrollan rutas que permiten la unión

entre los principales centros urbanos del Área Metropolitana, dependiendo del tramo de la carretera estas pueden alcanzar un ancho de derecho de vía de hasta los 16 metros en zonas industriales.

- Carreteras de tercer orden: estos son los caminos de menor categoría, siendo estas todas las carreteras que unen las comunidades pertenecientes a la municipalidad. La mayoría del tiempo son de continuidad limitada y con tránsito restringido, teniendo un derecho de vía mínimo de 7 metros.

Estas características siguen un patrón universal como el mencionado en los puntos anteriores, aunque varían entre distintas naciones, ya que países subdesarrollados plantean una distribución vial que permite el acceso a todo el territorio nacional generando vías más complejas que recaerían en otras categorías.

Además de las funciones mencionadas, las vías de circulación en ciudades se pueden categorizar de la siguiente manera:

- Las vías residenciales tienen un uso exclusivo para la accesibilidad a hogares, siendo estas de baja velocidad ya que suelen ser recorridos cortos y transitado por peatones.
- En muchas poblaciones se crean rutas arteriales que atraviesan ciudades pequeñas, siendo esta una red que enlaza distintas zonas de la ciudad.
- En ciudades donde se concentra una gran acumulación de vehículos se opta por construir una autopista que atraviesan las principales ciudades de la nación, permitiendo un traslado a mayor velocidad que no se podría conseguir al decidir viajar por rutas internas.

1.4. Elementos de la carretera

La distribución estructural de cualquier carretera está constituida por un conjunto de alineaciones que se someten a curvas, en ella se debe de reconocer

varios trazados a la hora del diseño, estos pueden variar como se observa en la imagen, dependiendo del trazado en planta, delimitando alineaciones rectas y curvas de transición.

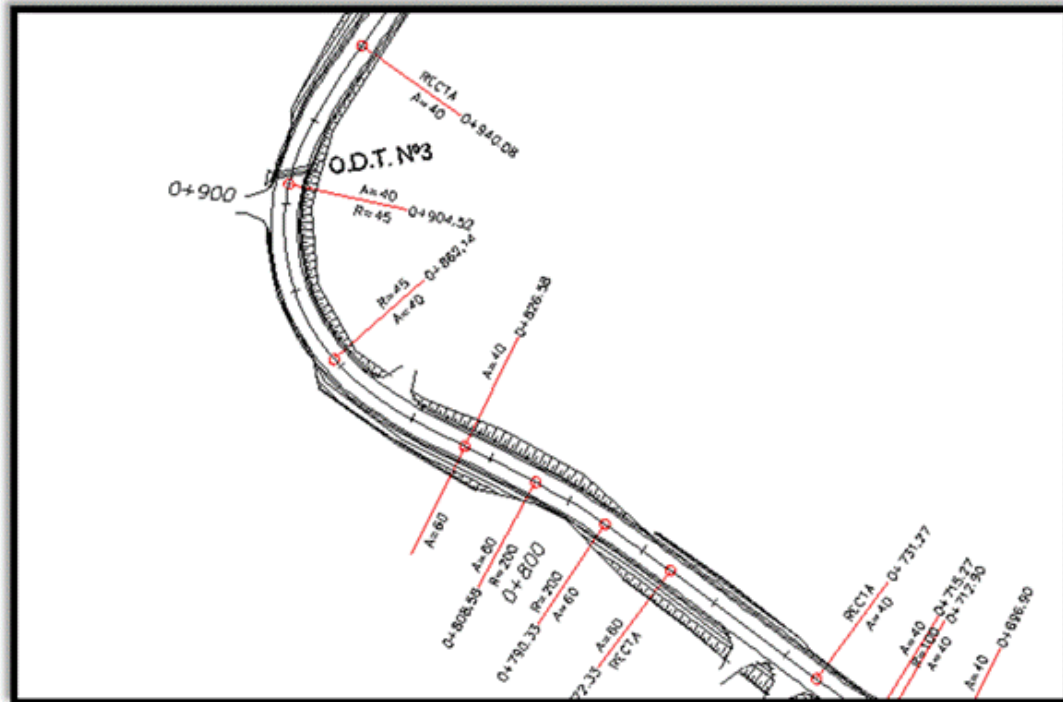
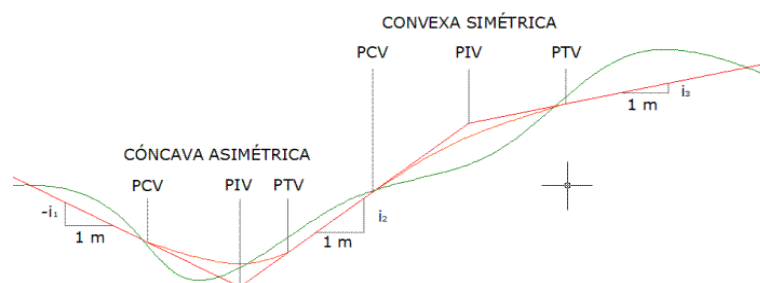


Ilustración 12 Distribución de lineamientos en planta de una carretera.
Fuente: (Ferrán González, s.f.)

Pero para lograr representar el diseño de la vía no solo basta con su distribución en planta, ya que por la topografía que afecta la ruta en cuestión afecta en pendientes, siendo necesario presentar un perfil longitudinal como el mostrado en la ilustración 13 donde detalle las características que afectan el camino como los son sus pendientes, rampas, crestas y columpios. Además, es por medio de este perfil donde se logra apreciar sectores en los cuales es necesario realizar una excavación o relleno que permita a la vía cumplir con la



pendiente establecida.

Ilustración 13 Diseño Geométrico en perfil Longitudinal
Fuente: (Topografía en carretera, s.f.)

Por el momento se ha definido que para el trazo de una vía es indispensable mostrar los perfiles en planta y longitudinal demostrando el trayecto requerido. Pero no se ha detallado todos los elementos que necesita una carretera, los cuáles en su sección transversal se compone de lo siguiente:

- Superficie de rodamiento o calzada: Superficie acondicionada para el tránsito de vehículos, en carretas de orden mayor suelen estar pavimentadas.
- Carril: Es aquella parte de la calzada en la cual se permite el tránsito vehicular, estas deben de tener un ancho mínimo que permita el ingreso de vehículos sin presentar invasión en otros carriles.
- Acotamiento o Arcen: esta parte de la calzada se ubica a los costados extremos de la vía con el objetivo de permitir a los vehículos estacionarse provisionalmente. Se diseña de esta manera para que el conductor al presentar algún inconveniente logre parquearse sin interrumpir el flujo vehicular (Kraemer et al., 2006).
- Bombeo: Toda carretera debe tener una pendiente mínima hacia los costados externos que permitan un desagüe de sus aguas, permitiendo que en las mismas no existan logares donde se desarrolle acumulación de agua.
- Talud o cuneta: Al desaguar estas aguas a sus extremos es necesario construir un canal que impida que esa agua se filtre por debajo de la vía, ya que si esto sucede surgirían imperfecciones que dañarían la estructura.
- Subbase: subbase y carpeta asfáltica: estas son capas de material seleccionado, las cuales pretenden soportar las cargas inducidas por los vehículos, su diseño depende de un análisis de la capacidad que tendrán estas rutas.

Para mostrar de manera más clara en la figura 14 se logra apreciar una distribución común de la sección transversal de la carretera, ilustrando los puntos mencionados anteriormente.

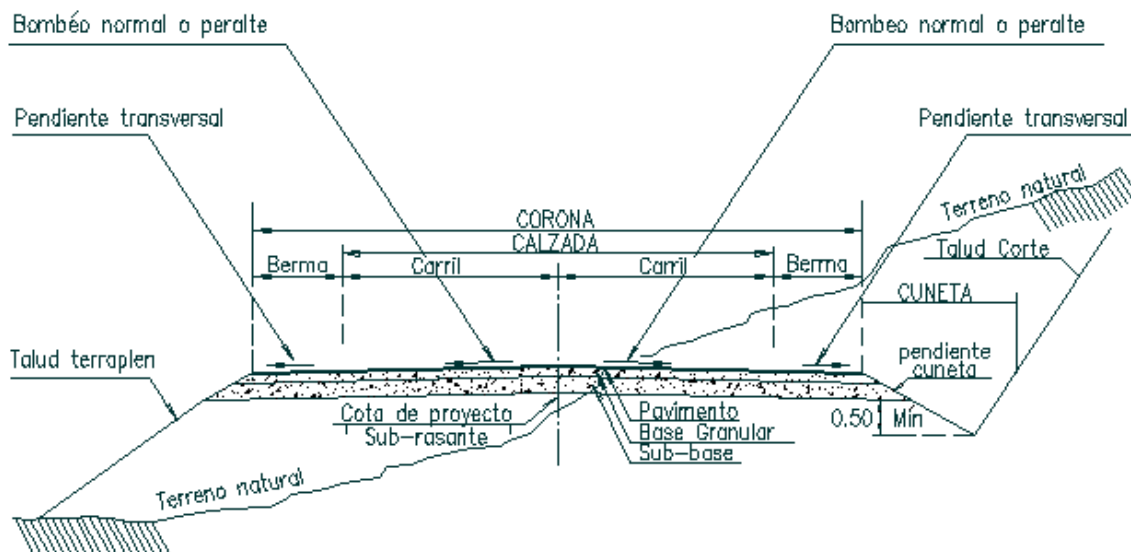


Ilustración 14 Detalle general de la sección transversal de las carreteras
Fuente: (Ulate Alvarez , 2015)

Otro elemento fundamental en las vías son los nodos, ya que estas son zonas en las cuales intersecan varias carreteras, estos puntos son críticos debido a que por ellas circulan vehículos con distintas trayectorias, siendo estas donde se presentan mayor cantidad de accidentes, en carreteras de primer orden su busca evitar este tipo de intersecciones construyendo un paso con distintos niveles y conectas estas rutas por medio de accesos que no interfieren con el flujo vehicular (Kraemer et al., 2006).

1.5. Velocidad

Aparte de todos estos elementos físicos que presentan las vías, existe otro factor que limita el diseño vial y la movilidad del flujo vehicular dependiendo de la zona, a este factor se le ha denominado velocidad. Definida por el desplazamiento de un objeto por una unidad de tiempo, a nivel nacional esta se expresa en km/h

(Cal & Reyes Spíndola, 2007). Para los casos en que se presenta una velocidad constante esta se puede expresar en una función lineal de la distancia y el tiempo:

$$V = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Donde:

V = Velocidad constante (km/h)

d = Distancia recorrida (km)

t = Tiempo de recorrido (h)

Con el objetivo de comprender a profundidad este factor y como este influye en la toma de decisiones en las vías tanto para diseño, como para la circulación, se definirán términos directamente relacionados con este.

1.5.1. Velocidad de punto

Este factor es la medida de la velocidad que presenta un vehículo al transitar por un punto. También denominado como velocidad instantánea ya que esta medida es la velocidad que presenta el vehículo en el preciso instante en el que pasa por un punto determinado (Cal y Reyes, 2007).

1.5.2. Velocidad media temporal

Esta es la velocidad de punto medida a una cierta cantidad de vehículos que circulan en un punto determinado durante un lapso de tiempo establecido, es por esta razón que se le da el término de velocidad media temporal ya que esta refleja solamente la velocidad de punto promedio en un lapso determinado (Cal y Reyes, 2007). En el caso de velocidades de punto no agrupadas, esta se puede representar en la siguiente ecuación:

$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (2)$$

Donde:

\bar{v}_t = Velocidad media temporal.

v_i = velocidad punta del vehículo i.

n = cantidad total de vehículos evaluados.

1.5.3. Velocidad media espacial

Esta es la velocidad en punto de todos los vehículos evaluados en un tramo de carretera, a diferencia de la velocidad media temporal, esta evalúa todo un tramo de la vía, es por esto que se asegura que se valoran las velocidades punto en una distribución espacial (Cal & Reyes Spíndola, 2007). Este factor se puede determinar median la siguiente ecuación:

$$\bar{v}_e = \frac{d}{t} \quad (3)$$

Donde:

\bar{v}_e = Velocidad media espacial.

d = Distancia de recorrido.

t = Tiempo promedio de recorrido.

Es de gran importancia recalcar que la velocidad media temporal puede ser igual a la velocidad media espacial solamente cuando todos los vehículos evaluados circulan exactamente a una misma velocidad. Es por esto que Cal y Reyes (2007) afirman: “Cuando las velocidades de los vehículos no son iguales, la velocidad media temporal es siempre mayor que la velocidad media espacial” (P.212).

1.5.4. Velocidad de recorrido

El factor de velocidad de recorrido es la distancia recorrida desde un punto inicial a un punto de destino, dividido entre el tiempo que tarda en llegar al punto final, en ella se deben agregar todos los tiempos de demora que sufre el vehículo, ya sea por paradas que se deban hacer en la vía, gran flujo de tránsito, peatones invadiendo la carreta o inclusive por accidentes sobre la misma (Cal y Reyes, 2007).

Para este factor es importante tener en cuenta que el tiempo que tarda ya sea para llenar de combustible el vehículo, por detenerse a esperar algún usuario o ya sea para atender una llamada por teléfono, estas no deben ser agregadas al tiempo de recorrido ya que no están directamente relacionadas con la naturaleza que presenta el flujo vehicular.

1.5.5. Velocidad en marcha

También conocida como velocidad crucero, esta presenta características similares a la velocidad de recorrido, ya que es el resultado de dividir la velocidad recorrida entre la distancia del viaje, a excepción de tomar en cuenta el tiempo de demora (Cal y Reyes, 2007). Es por esto que solamente se sumara el tiempo en el que el vehículo se encuentra en movimiento e ignorando el tiempo en que permaneció estático.

1.5.6. Velocidad de proyecto

Este factor se ve directamente relacionado con el diseño de la vía, ya sea tanto por alineamientos geométricos horizontales, verticales y transversales, esto se debe a que la velocidad de diseño depende de radios mínimos, pendientes, crestas, columpios, distancia de visibilidad, ancho de carril, entre otros (Cal y Reyes, 2007). Es por esto que la velocidad de proyecto se define como el límite de velocidad que es permitido en el tramo.

1.6. Flujo vehicular

En temas de tránsito vehicular el flujo que presenta las vías es el principal factor que todo ingeniero debe enfocarse, ya que es por medio de esta que se logra planificar, diseñar y evaluar la efectividad que presentara un sistema de rutas.

Esta teoría se utiliza para determinar las longitudes necesarias de reacción, además de lograr representar la simulación que se vive en las vías, pretendiendo ilustrar soluciones en intersecciones como lo son giros elevados a la izquierda, evitando que los vehículos se vean obligados a invadir la vía. (J. Garber & A. Hoel , 2002)

Para lograr desarrollar estos elementos, es importante primero definir los principios que afectan el flujo de tránsito, evaluando la densidad y factores de velocidad ya anteriormente explicadas. Con respecto a la tasa de flujo (q), esta es definida por Cal y Reyes (2007) como:

Frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. Es pues, el número de vehículos, N , que pasan durante un intervalo de tiempo específico, T , inferior a una hora en unidades de minutos o segundos. No obstante, la tasa de flujo, q , puede ser expresada en vehículos por hora. (p.262)

Cabe resaltar que esta no se refiere precisamente al número de vehículos que pasan durante una hora completa, ya que a este factor se le denomina como volumen horario (Q). La tasa vehicular se puede representar con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{n}{T} \quad (4)$$

En la cual:

q = Flujo horario equivalente

n = Numero de vehículos que transitan por la vía en el lapso de tiempo estudiado.

T = Lapso de tiempo estudiado (segundos)

El volumen de transito que se logra evaluar en una aforo vehicular, no necesariamente representara el flujo vehicular vivido a diario en la zona que se realizó el estudio, ya que esta suele variar por condiciones horarias vividas día a día en las horas pico o por condiciones diarias como accidentes, embotellamientos, mantenimiento de vías, al igual que podría variar la demanda vehicular según la temporada del año. (Transportation Research Board, 2010).

1.7. Relación densidad-flujo vehicular

Para desarrollar de mejor manera el concepto relacionado con la densidad y flujo vehicular se explicará esta relación desde una perspectiva rural y urbana, demostrándose de manera gráfica estos dos conceptos.

En términos de ingeniería de transportes se suele confundir los significados de demanda o densidad vehicular y oferta vial, ya que ambos tienen significados similares. La demanda vehicular son todos aquellos vehículos que requieren desplazarse por un sistema vial, abarcando tanto al vehículo que circula libremente, como también vehículos en cola de espera o los que deciden desviarse en rutas alternas. Por otra parte, la oferta vial es el espacio físico disponible para circular sobre la vía, es en esta se logra apreciar la capacidad máxima que permite la vía (Garber y Hoel, 2002).

Entonces, se logra comprender que si la demanda vehicular es menor a la oferta vial se presenta un flujo libre ya que las vías cuentan con mayor espacio para poder desplazarse, a medida que aumenta la demanda se disminuye la oferta generando posibles congestiones. Pero en el caso de la oferta vehicular no logra alcanzar la demanda se ve un flujo forzado y colapsado, generando grandes demoras en las vías.

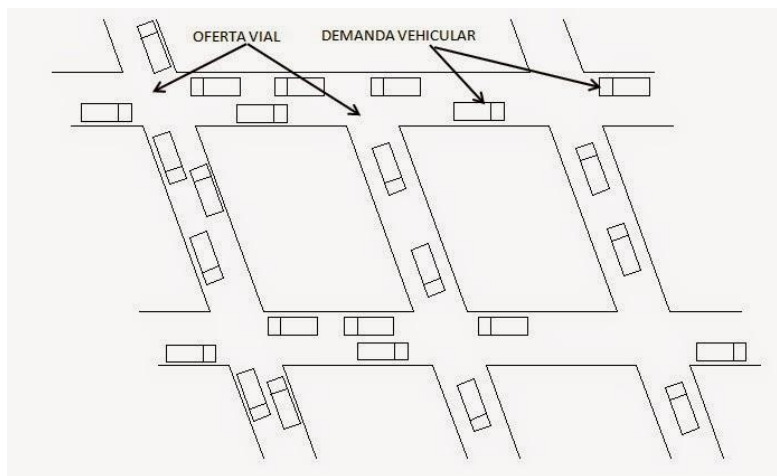


Ilustración 15 Patrón urbano de demanda vehicular y oferta vial
Fuente: (J. Garber & A. Hoel , 2002)

Con el objetivo de explicar más detalladamente esta relación se tiene el siguiente grafico donde se expresa que, cuando la densidad es igual a cero, el flujo también sería cero debido a que no existe tránsito vehicular, a medida que aumente el flujo se ve afectado el volumen y por consiguiente si el volumen alcanza su capacidad máxima el flujo sería igual a cero debido a que es tanto el congestionamiento que los vehículos permanecen estáticos (Garber y Hoel, 2002). En el siguiente grafico se puede ilustrar el efecto detallado, siendo el punto E la capacidad en la cual el flujo y la densidad son iguales, es a partir de este punto en el cual si aumenta la densidad disminuiría el flujo vehicular.

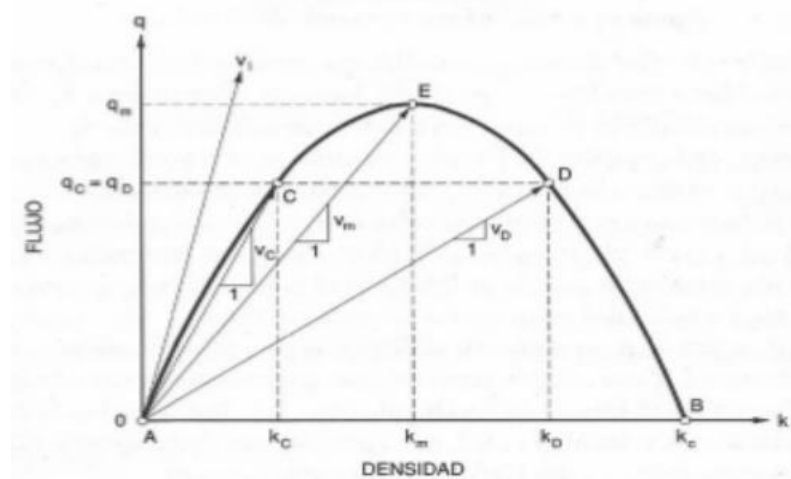


Ilustración 16 Relación parabólica entre flujo y densidad
Fuente: (J. Garber & A. Hoel , 2002)

Al tener claro la relación que existe entre estos dos términos, la densidad vehicular se puede expresar mediante la siguiente ecuación (Cal y Reyes, 2007):

$$k = \frac{n}{d} \quad (5)$$

Donde:

K= Densidad vehicular.

n = Cantidad de vehículos.

d = longitud específica.

La relación entre densidad y flujo vehicular se puede representar mediante la siguiente ecuación (Cal y Reyes, 2007):

$$q = k * v \quad (6)$$

En la cual:

k = densidad o concentración vehicular, siendo la cantidad total de vehículos circulados en un tramo.

v = es la distancia que recorre un vehículo en un lapso de tiempo (velocidad)

Si bien es cierta esta relación, se logra deducir que existen carreteras en las cuales la oferta vial está controlada totalmente, evitando que se presenten variaciones en el tránsito, es por esto que el flujo vehicular se puede presentar de las siguientes maneras.

1.7.1. Flujo ininterrumpido

Como su nombre lo menciona, estas son carreteras en las cuales se tiene un control de todos los carriles, ya sea vías exclusivas para vehículos pesados, transporte público y vías rápidas, es por esto que el flujo vehicular no se ve interrumpido y se mantiene constante. En algunas de estas vías se pueden presentar peajes comúnmente manuales, existiendo pocos carriles de uso exclusivo Quick Pass, por lo que en el tramo que se ve afectado por la estación de peaje se presenta un flujo interrumpido (Transportation Research Board, 2010).

Estas vías tienen control en sus accesos ya sea mediante rampas o pasos elevados, generando que el flujo no varíe al presentarse el ingreso de vehículos, ocasionalmente se presentan intersecciones de rotondas que generarían una interrupción mínima en el flujo vehicular.

1.7.2. Flujo interrumpido

Mayormente en las vías urbanas y rurales se presentan cientos de entradas y salidas de la vía, ya sea en intersecciones controladas con semáforos, como también controladas con señales de alto o ceda el paso. Es por esto que el flujo vehicular se ve interrumpido en cada intersección que se encuentre en la vía, además de otras variables que podrían generar un atraso en los tiempos de llegada (Transportation Research Board, 2010).

1.8. Volumen vehicular

Transportation Research Board (2010) en su manual define el término volumen como:

Cantidad total de vehículos que pasan por un punto o sección determinada de un carril o carretera durante un intervalo de tiempo determinado; se puede utilizar cualquier intervalo de tiempo, pero los volúmenes se expresan normalmente en términos de períodos anuales, diarios o por hora. (p.2)

El volumen vehicular suele variar en periodos cortos de tiempo por lo que el Manual HCM limita este en estudios horarios, en el cual se presentan variaciones en el flujo vehicular aumentando a un flujo pico o disminuyendo a una cantidad mínima de vehículos circulando, a este fenómeno se le denomina factor de hora pico (PHF). Este se expresa en términos de demandas por hora ya que se puede convertir el volumen horario en términos de índices de flujo máximo de 15 minutos (Transportation Research Board, 2010).

Aunque el término se denomine factor de hora pico, este no se limita a las horas pico vividas en las carreteras, sino es un factor que se puede aplicar a un lapso de una hora en cualquier momento del día; por lo que esta relación volumen flujo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$PHF = \frac{V}{4 * V_{15}} \quad (7)$$

Donde:

V= Volumen por hora (Vehículos / hora)

V_{15} =volumen vehicular durante el pico 15 min de la hora de análisis (vehículos / 15 minutos)

A medida que el factor de hora pico sea mayor indica que se presenta una menor variación del flujo vehicular, mientras que a menor sea este factor la variación del flujo incrementaría. Este es un factor limitado, variando de un mínimo de 0,25 a un máximo de 1, logrando deducir que a medida que el factor se acerque a uno significa que la demanda es la misma durante cada periodo de 15 minutos en la hora estudiada (Transportation Research Board, 2010).

1.9. Congestión vial

En las últimas décadas el incremento considerable de tecnologías se ha enlazado directamente con miles de diseños de automóviles de uso privado y público, por lo que en el mercado se podrán encontrar cantidad inimaginable de marcas, modelos y estilos diferentes. Este incremento desconsiderado trae consigo un sinnúmero de inconvenientes presentes en las vías tanto urbanas como interurbanamente.

Debido a este problema se puede definir el término por el cual nos ha llevado a esta investigación como congestión vehicular, para la cual el diccionario de la Lengua Española la define ampliamente como la acumulación en exceso de algún cuerpo, o bien obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento



de algo. (Española, 2014)

Ilustración 17 Congestionamiento vial

Fuente: (Krumholtz, 2016)

Si relacionamos el término congestión con cuestiones viales y de tránsito podríamos desarrollar una definición más enfocada a este estudio, por lo que una acumulación de vehículos en la vía pública podría ser el significado preciso de la misma. En palabras técnicas, la congestión de tránsito se refiere a que la conducción de un flujo vehicular se ve saturado debido a la gran demanda de vehículos que circula una vía, produciendo incrementos en los tiempos de demora del viaje (Cal y Reyes, 2007). Normalmente se presenta un punto crítico durante el día en la cual se tiene mayor requisito de capacidad vehicular, denominando a este fenómeno como hora pico.



Ilustración 18 Presas en carreteras de Costa Rica

Fuente: (Palacios Echeverría, 2016)

1.10. Causas del congestionamiento vial

Toda vía de tránsito vehicular contiene un flujo vehicular libre, desplazándose con los límites de velocidad establecidos, frecuencia fluida en intersecciones y vías con tránsito moderado, sin embargo, con la presencia de

volúmenes mayores de vehículos, llegan a estorbar el desplazamiento que se da en la ruta, por lo cual inicia el congestionamiento. A este fenómeno el señor Ian Thomson lo define como “La congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás” (Thomson, 2002).

El señor Thompson explica que “A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más fuertemente las velocidades de circulación” (Thomson, 2002, P110), demostrado que mediante la función $t = f(q)$ expresa que el tiempo (t) necesario para transitar una calle es directamente proporcional a diferentes volúmenes de tránsito.

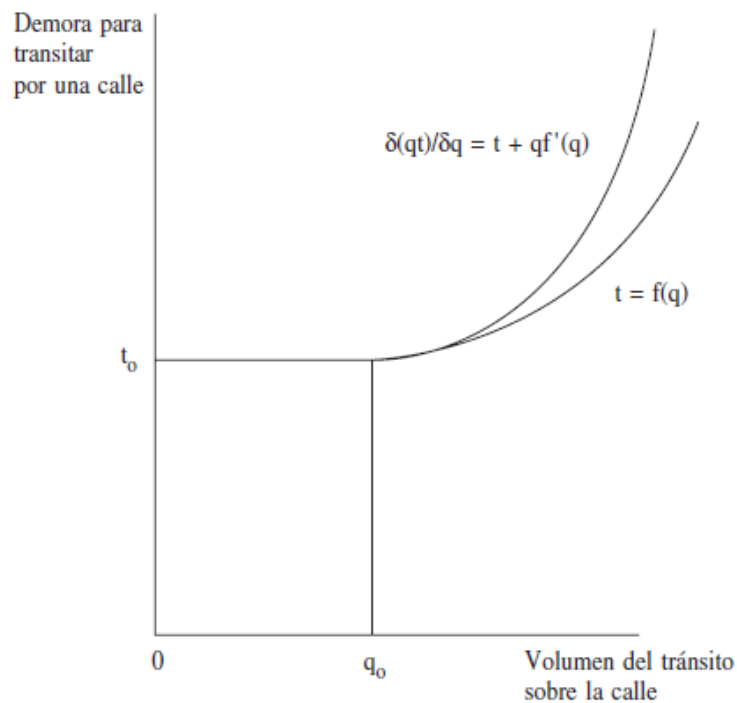


Ilustración 19 Representación esquemática del concepto de la congestión de tránsito
Fuente: (Thomson, 2002)

Existen miles de factores que influyen al aumento de congestión vehicular, sin embargo, entre estos se encuentran factores de corto y largo plazo.

1.10.1. Factores de corto plazo

Entre estos factores cabe rescatar los siguientes:

- Crecimiento de la población: El rápido crecimiento de hogares y por consiguiente de trabajos en un área determinada incrementa claramente el número de vehículos en la vía.
- Fácil acceso a vehículos privados: El fácil acceso a líneas de crédito y la disminución del costo de vehículos usados provoca que la población decida obtener vehículos propios, los cuales influirán directamente en el flujo vehicular.
- Infraestructura Vial: Existen poblaciones con alta densidad de población, pero los accesos a las mismas son mínimas, generando un



embotellamiento al querer ingresar al pueblo.

Ilustración 20 Único acceso San Jose – Heredia
Fuente: (Madrigal, 2016)

1.10.2. Factores de largo plazo

Al igual que los factores a corto plazo, se muestran los principales influyentes que afectan a largo plazo:

- Horas laborales: La mayoría de las empresas u organizaciones inician y concluyen sus horas laborables prácticamente a la misma hora, generando que la población coincida en las horas de salida provocando un aumento excesivo en las vías.

- Estadía del usuario: El elegir el lugar indicado para vivir es una decisión compleja que tiene la población, la mayoría de los casos no les molesta el tener que desplazarse largos tramos para llegar al destino si se obtiene el lugar deseado para su vivienda.
- Población con baja demanda vehicular: Al contrario del punto anterior, muchas otras personas prefieren bajar sus expectativas del pueblo donde desea vivir si se logra viajar libremente por las vías, esto provoca que cientos de personas opten por esta opción, generando nuevamente un volumen mayor de vehículos.
- Comodidad: El buscar confort, comodidad, privacidad y un desplazamiento más eficaz que el transporte público, se decide adquirir un vehículo privado, esta preferencia es la principal causa de que vehículos salgan a circulación día a día.

1.11. Análisis de flujo vehicular

Para lograr realizar un análisis del flujo vehicular se creó el decreto N° 38578 – MOPT publicado en la Gaceta No. 202, del 21-10-2014, la cual presenta un manual donde pacta un orden para realizar el inventario de la Red Vial. Esto surge debido a que el territorio nacional está dividido en ochenta y un municipios distintos, por lo que era necesario crear un instrumento técnico el cual facilite a municipios la posibilidad de emitir información emitida por medio de formularios idénticos para facilitar al MOPT su revisión. (Solís Rivera, 2014)

En este decreto se desarrolla un manual que ordena como debe realizarse el inventario de la Red Cantonal para lograr inscribirlas en un Registro Vial del MOPT. Para lograr ser incorporadas en este registro es necesario presentar las siguientes seis boletas:

- Boleta de Inventario Físico.
- Boleta de Inventario Socio-Económico.
- Boleta de Tránsito Promedio Diario.
- Boleta de Inventario de Puentes.
- Boleta de Índice de Viabilidad Técnico-Social.

- Croquis de Camino.

A fines de lograr realizar un inventario del tránsito promedio diario, el manual establece lineamientos en el capítulo IV, con el objetivo de lograr extraer información confiable, siguiendo las siguientes especificaciones para completar el formulario (Solís Rivera, 2014):

- Todo conteo de tránsito se debe de realizar en no menos de 3 horas seguidas en días representativos de la semana.
- El conteo se deberá realizar en ambos sentidos de la vía simultáneamente y en horas en que la muestra sea representativa del flujo vehicular diario.
- Se deberá de anotar la hora en la que se inició el conteo y se procederá a llenar el formulario a base de la cantidad de vehículos que circulen, con el objetivo de poder calcular el Tránsito Promedio Diario.
- Si el flujo vehicular es excesivo y no alcanzan las celdas del formulario, se recomienda reducir los rangos de tiempo.
- Se realiza una sumatoria final para el total de horas inspeccionadas por tipo de vehículo y se procede a calcular el Tránsito Promedio Diario. El mismo se calcula tomando la sumatoria de tipos de vehículos dividido por la cantidad de horas evaluadas, multiplicado por el factor de expansión correspondiente a la vía.

1.12. Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Para el año 1950 en la Junta de Investigación de Transporte de la Academia Nacional de Ciencias en los Estados Unidos fue publicada la primera edición del Manual de Capacidades de Carreteras (HCM), la cual fue un esfuerzo de colaboración entre el Transportation Research Board (TRB) y el Bureau of Public Roads (Transportation Research Board, 2010). Este fue uno de los primeros documentos en abarcar temas relacionados con la capacidad de transporte, ya que era una necesidad que vivía el gobierno americano debido a la conclusión de segunda guerra mundial y el interés de crear la carretera interestatal.

Al pasar de los años se fueron realizando varios ajustes en este manual, por lo que se vinieron publicando varias ediciones, para el año 2010 se publicó la quinta edición, la cual incluye el TRB, AASTHO y la administración federal de carreteras. Este contiene los conceptos necesarios y procedimientos a seguir para realizar adecuadamente el cálculo de la capacidad y servicio de las vías estudiadas, con un conjunto de 35 capítulos en los que expresa ampliamente la gestión de tráfico activo en autopistas y vías secundarias, además de un análisis detallado de intersecciones, rotondas e incluso zonas de paso peatonales.

Los objetivos de este manual son definir las medidas de rendimiento y describir los métodos de encuesta para lograr desarrollar un diseño óptimo, además de proporcionar metodologías para estimar el rendimiento de las vías (Transportation Research Board, 2010).

1.12.1. Flujo de intersección controlado por altos

En el capítulo 19 del HCM 2010 se analizan las intersecciones controladas con señales de alto, basándose en tres teorías fundamentales: la distribución de espacios libres en el tráfico de la carretera principal, la capacidad de reacción que tiene el conductor que desea salir de la carretera secundaria y los avances de seguimientos que efectúa cada conductor en la cola (Transportation Research Board, 2010).

Para realizar los análisis establecidos en este capítulo se requiere de ciertos datos de entrada necesarios para calcular la capacidad potencial y capacidad de movimiento, con el fin de estimar el retardo de control de toda la intersección. Es importante recalcar que si se presentan señales de tráfico que afecten directamente a la carretera principal, se presenta un fenómeno conocido como pelotón que afectaría los cálculos a realizar.

Para iniciar con el análisis de intersecciones controladas por altos es indispensable comprender el termino de aceptación del vacíos, el cual al presentarse solamente una señal de alto, esta no indica exactamente en qué momento el conductor puede ingresar a la carretera principal, sino esta decisión la debe tomar el conductor, analizando cuando se genere un espacio en la carretera

principal lo suficientemente grande para poder permitir su entrada en la carretera (Transportation Research Board, 2010)

Al tener en claro el término de aceptación de vacíos, se genera otra incógnita con respecto a que movimiento tiene prioridad en la intersección, ya que los procesos de aceptación de espacios de los conductores de la calle principal no se ven afectados por los movimientos de calles menores (Transportation Research Board, 2010). Es por esto que el manual HCM 2010 establece una prioridad de derecho de paso, la cual se analizará con base a la siguiente imagen.

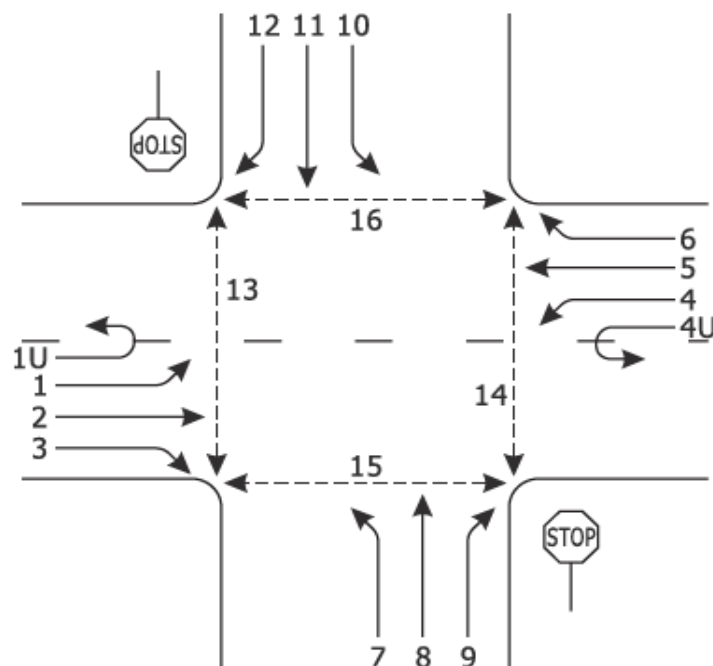


Ilustración 21 Intersección de cuatro patas, controlada por señal de alto.
Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

En la imagen se puede apreciar que los movimientos 1U, 1, 2, 3, 4U, 4,5 y 6 se presentan desde la carretera principal, mientras que el resto proviene de una carretera secundaria limitada con una señalización de alto, los movimientos 13, 14, 15 y 16 son los generados por los peatones.

Para las intersecciones típicas controladas por alto, Transportation Research Board (2010) en su manual enumera el rango de prioridad de movimiento, subdividiéndolo en 4 rangos

- Los movimientos del Rango 1 incluyen movimientos a través del tráfico en la calle principal, el tránsito hacia la derecha de la calle principal y los movimientos de peatones que cruzan la calle menor.
- Los movimientos del Rango 2 (subordinado al Rango 1) incluyen el tránsito hacia la izquierda y hacia arriba desde la calle principal, el tráfico hacia la derecha hacia la calle principal y los movimientos de peatones que cruzan la calle principal.
- Los movimientos del Rango 3 (subordinados a los Rangos 1 y 2) incluyen el tráfico en la calle menor (en el caso de una intersección de cuatro patas) y el tráfico hacia la izquierda desde la calle menor (en el caso de una intersección en T).
- Los movimientos de Rango 4 (subordinados a todos los demás) incluyen el tráfico que gira a la izquierda desde la calle menor. Los movimientos de rango 4 ocurren solo en intersecciones de cuatro patas. (p, 7)

La metodología planteada en el capítulo aplica una serie de pasos a seguir relacionados con el flujo de movimientos, priorización de movimientos, capacidades potenciales y de movimiento, además del análisis de retardos de control y longitudes de cola, todo esto calculado a través de los siguientes pasos:

1.12.1.1. Datos de entrada

Para el análisis de intersecciones reguladas con señales de alto el HCM enlista una serie de datos primordiales como datos de entrada (Transportation Research Board, 2010):

- Definir el número de carriles de cada vía que afecta la intersección.
- Porcentaje de vehículos pesados.

- Flujo de demanda de cada vehículo, evaluado durante una hora en lapsos de 15 minutos.
- Aspectos de la canalización existente.
- Grado de aproximaciones
- Duración del periodo de análisis

1.12.1.2. Determinar las prioridades de movimiento

Es primordial definir cada movimiento de la intersección ya que es por medio de este que se designara el rango apropiado de cada movimiento para los pasos futuros, por lo general esta secuencia da prioridad al uso de brecha, por esta razón Transportation Research Board (2010) enumera en su manual un orden de movimientos a considerar:

- 1) Giros a la izquierda desde la carretera principal.
- 2) Giros a la derecha desde la carretera secundaria.
- 3) Giros en U desde la carretera principal.
- 4) Movimientos a través de la intersección desde la carretera secundaria.
- 5) Giros a la izquierda de la carretera secundaria. (p.19-8)

1.12.1.3. Convertir volúmenes de demanda de movimiento a tasas de flujo

Para el cálculo del flujo vehicular se debe considerar el volumen resultante del pico máximo de 15 minutos del total tiempo evaluado y el factor PHF, por lo que la tasa de flujo se calcula mediante (Transportation Research Board, 2010):

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} \quad (10)$$

Donde:

v_i = Flujo de demanda para el movimiento (veh/horas)

V_i = volumen de demanda para el movimiento (veh/horas)

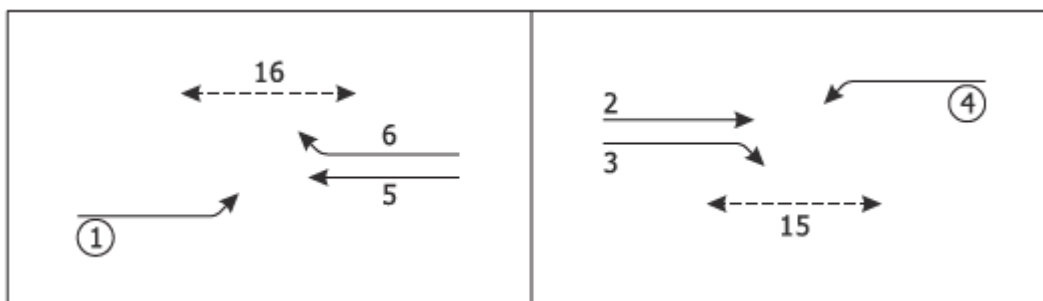
PHF = Factor de hora pico

1.12.1.4. Determinar las tasas de flujo conflictivas

En este paso se analizan las tasas conflictivas que afectan directamente a cada movimiento que se realiza en la intersección, por lo que los conductores que viajan a través de la intersección desde la carretera principal no deberían de estar afectado por ningún movimiento ya que este es el primero en el rango de movimientos.

1.12.1.4.1. Movimientos de rango 2 – Giro a la izquierda principal

Para los movimientos de rango 2, específicamente giros a la izquierda desde la carretera principal sufren flujos conflictivos provenientes de los vehículos que circulan en sentido opuesto en la carretera principal como se demuestra en la



siguiente imagen:

Ilustración 22 Tasas de flujo conflictivas para movimientos de rango 2 – giro a la izquierda principal.

Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

Esto se representa mediante la siguiente ecuación (Transportation Research Board, 2010):

$$v_{c1} = v_5 + v_6 + v_{16} \quad (11)$$

$$v_{c4} = v_2 + v_3 + v_{15} \quad (12)$$

1.12.1.4.2. Movimientos de rango 2 – Giro a la derecha secundario.

Los conductores que transitan sobre la carretera secundaria y desean girar a la derecha entran en conflicto con varios movimientos de la carretera principal como se muestra en la imagen.

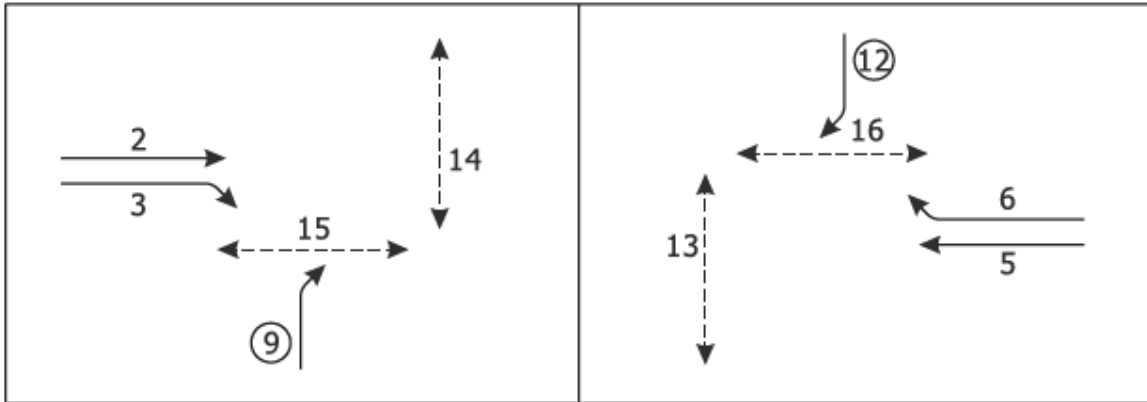


Ilustración 23 Tasas de flujo conflictivas para movimientos de rango 2 – giro a la derecha secundaria.

Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

Específicamente, los vehículos que circulan a través de la intersección desde la carretera principal y solamente la mitad de los movimientos a la derecha de la carretera principal afectan a estos conductores, como se detalla en la siguiente ecuación (Transportation Research Board, 2010):

$$v_{c9} = v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (13)$$

$$v_{c12} = v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (14)$$

1.12.1.4.3. Movimiento de rango 2 – Giros en U

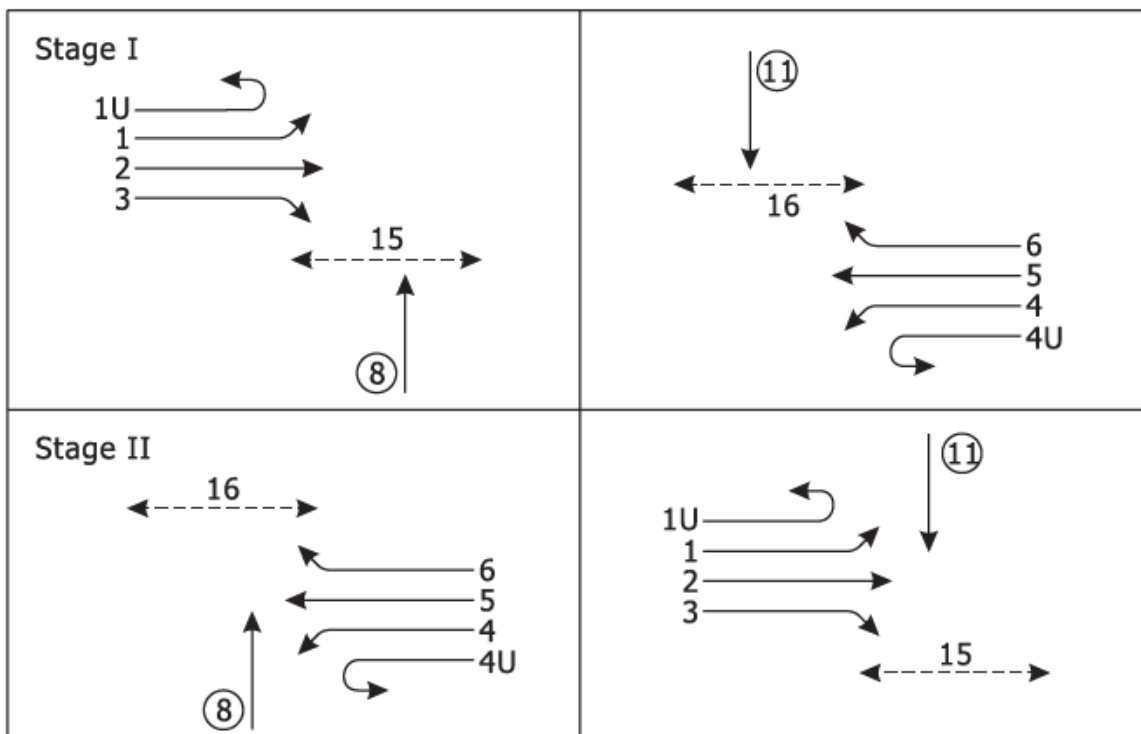
Según los estudios realizados en el Transportation Research Board (2010) deducen que para todo movimiento de giro en U de la carretera principal se ve afectado por el volumen de tránsito opuesto de la misma carretera, tanto movimientos a través de la intersección, como giro a la derecha, dicho volumen conflictivo se expresa mediante:

$$v_{cU1} = v_5 + v_6 \quad (13)$$

$$v_{cU4} = v_2 + v_3 \quad (14)$$

1.12.1.4.4. *Movimientos de rango 3 – Movimiento a través de la intersección.*

Para analizar los movimientos a través de la intersección desde la carretera secundaria es necesario evaluar está en sus dos etapas, la primera evaluando los movimientos que le afectan en solo el primer tramo de la intersección, siendo estos el doble de volumen de giro a la izquierda y giro en u, además del volumen vehicular que decide atravesar la intersección y tan solo la mitad del volumen que



decide girar a la derecha, todas desde la carretera principal como se muestra en la imagen.

Ilustración 24 Tasas de flujo conflictivas para movimientos de rango 3.
Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

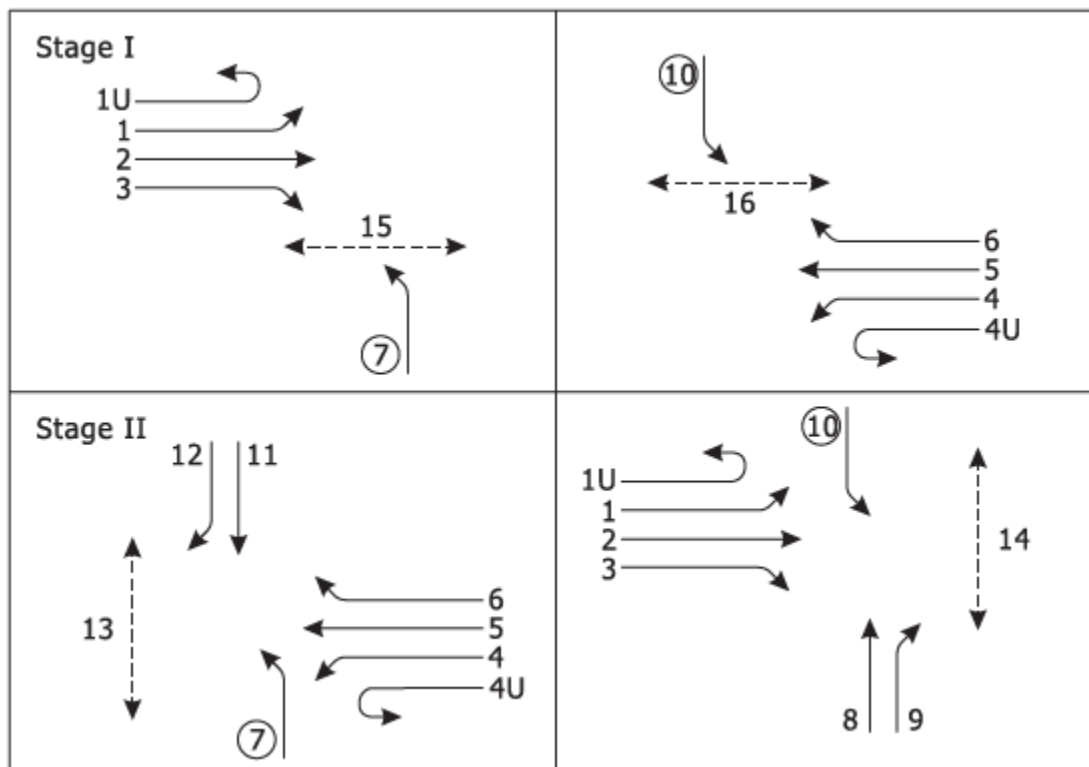
Mientras que la segunda evaluación se realiza con los volúmenes conflictivos que afectan en el segundo tramo con la misma distribución a excepción del giro a la derecha de la carretera principal, ya que se contempla el total de este volumen y no la mitad como en el primer tramo, como se establece en las siguientes ecuaciones (Transportation Research Board, 2010):

$$v_{cI8} = 2 * (v_1 + v_{U1}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} \quad (15)$$

$$v_{cII8} = 2 * (v_4 + v_{U4}) + v_5 + v_6 + v_{16} \quad (16)$$

1.12.1.4.5. *Movimientos de rango 4, giro a la izquierda secundario.*

Los conductores que viajan por la carretera secundaria que deciden girar a la izquierda se enfrentan a la maniobra más complicada que se puede presentar en las intersecciones controladas por alto, ya que ellos se enfrentan a un conjunto de volúmenes más complejos, al igual que los conductores que deciden atravesar



toda la intersección, es necesario calcular el volumen conflictivo en dos tramos.

Ilustración 25 Tasas de flujo conflictivas para movimientos de rango 4.
Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

Para el primer tramo los conductores se limitan a los volúmenes provenientes de la parte izquierda de la carretera principal, siendo este el volumen

que atraviesa totalmente la intersección, tan solo la mitad de los movimientos que giran a la derecha y por otro lado los vehículos que deciden girar a la izquierda afectan el doble a la toma de decisiones que sufren los conductores en este movimiento. El primer tramo se puede expresar de la siguiente manera (Transportation Research Board, 2010):

$$v_{cI7} = 2 * (v_1 + v_{U1}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} \quad (17)$$

Para el segundo tramo, el volumen conflictivo que afecta a este movimiento proviene de los vehículos que circulan desde la derecha en la carretera principal, siendo estos el doble de los que deciden girar a la izquierda, los movimientos a través de la intersección y tan solo la mitad de los movimientos a la derecha. Además, en este tramo también afectan la mitad de los movimientos a través de la intersección y giros a la derecha provenientes de la carretera secundaria como se detalla en la ecuación (Transportation Research Board, 2010):

$$v_{cII7} = 2 * (v_4 + v_{U4}) + v_5 + 0.5v_6 + 0.5v_{11} + 0.5v_{12} + v_{13} \quad (18)$$

En los casos en los que se presenta un carril exclusivo para giros a la derecha desde la carretera principal, el volumen resultante de este se podría considerar como cero.

1.12.1.5. Determinación de avances críticos y avances de seguimiento

Al concluir con el cálculo de los flujos conflictivos se debe realizar el análisis de dos factores primordiales, como lo es el avance crítico, el cual Transportation Research Board (2010) lo define como: “intervalo de tiempo mínimo en el flujo de tráfico de la calle mayor que permite la entrada a la intersección para un vehículo de la calle menor” (p.7).

El otro factor que se debe calcular en este punto es el avance de seguimiento el cual se define como “tiempo entre la salida de un vehículo de la calle menor y la salida del vehículo que utiliza el mismo avance” (Transportation Research Board, 2010, p.7), esto si se presenta una condición de cola continua.

Para calcular los avances críticos para cada movimiento debe de utilizar la siguiente ecuación:

$$t_c = t_{c,base} + t_{c,HV} * P_{HV} + t_{c,G} * G - t_{3,LT} \quad (19)$$

Ecuación 1 Ecuación de avance crítico

Donde:

t_c, x = avance crítico para el movimiento x (s);

$t_c, base$ = avance crítico básico (Tabla 2) (s);

t_c, HV = factor de ajuste para vehículos pesados (1.0 para calles principales con un carril en cada dirección; 2.0 para calles principales con dos o tres carriles en cada dirección) (s);

P_{HV} = proporción de vehículos pesados para el movimiento (expresado como un decimal)

t_c, G = factor de ajuste para el grado (0.1 para los Movimientos 9 y 12; 0.2 para Movimientos 7, 8, 10 y 11) (s);

G = porcentaje de pendiente (expresado como un entero; por ejemplo, $G = -2$ para un 2% cuesta abajo grado)

$t_{3, LT}$ = factor de ajuste para la geometría de intersección (0.7 para la izquierda de la calle menor) movimiento en intersecciones de tres piernas; 0.0 de lo contrario) (s).

Tabla 2 Factor de avances críticos para intersecciones controladas con alto

Movimiento del vehículo	Avance crítico de base		
	Dos carriles	Cuatro carriles	Seis carriles
Giro a la izquierda desde mayor	4,1	4,1	5,3
Vuelta en U desde la mayor	0	6,4	5,6
		6,9	
Giro a la derecha desde menor	6,2	6,9	7,1
A través del tráfico en menores	6,5	6,5	6,5
A través del tráfico en menores (Etapa I)	5,5	5,5	5,5

A través del tráfico en menores (Etapa II)	5,5	5,5	5,5
Giro a la izquierda desde menor	7,1	7,5	6,4
Giro a la izquierda desde menor (Etapa I)	6,1	6,5	7,3
Giro a la izquierda desde menor (Etapa II)	6,1	6,5	6,7

Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

Para analizar los avances de seguimiento se debe realizar los siguientes cálculos:

$$t_f = t_{f,base} + t_{f,HV} * P_{HV} \quad (20)$$

Donde:

t_f = Recorrido de seguimiento (s)

$t_{f,base}$ = Factor base de seguimiento (tabla 3) (s)

$t_{f,HV}$ = Factor de ajuste para vehículos pesados (0.9 para calles principales con un carril en cada dirección, 1.0 en caso de más carriles) (s)

Tabla 3 Factor de avance de seguimiento para intersecciones controladas con alto

Movimiento del vehículo	Avances de seguimiento		
	Dos carriles	Cuatro carriles	Seis carriles
Giro a la izquierda desde mayor	2,2	2,2	3,1
Vuelta en U desde la mayor	0	2,5	2,3
		3,1	
Giro a la derecha desde menor	3,3	3,3	3,9
A través del tráfico en menores	4	4	4
Giro a la izquierda desde menor	3,5	3,5	3,8

Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

A nivel nacional el MOPT establece estos factores para intersecciones controladas por alto, estableciendo valores dependiendo el movimiento estudiado como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4 *Intervalos críticos y de seguimiento*

Intervalos críticos y de seguimiento				
Intervalo	Giro izquierda primario	Giro izquierda secundario	Directo secundario	Giro derecho secundario
Crítico	4,1	5,5	5,2	4,5
Seguimiento	2,1	3,4	3,2	2,6

Fuente: (Ulate Zárata, 2018)

1.12.1.6. Cálculo de las capacidades potenciales

La capacidad potencial es la aceptación que se vive en la intersección para aceptar el espacio mínimo que le permita ingresar en la vía, es por esto que el manual relaciona los factores resultantes de puntos anteriores y los representa mediante la siguiente ecuación (Transportation Research Board, 2010):

$$C_{p,x} = v_{c,x} * \frac{e^{-v_{c,x} * t_{c,x} / 3600}}{1 - e^{-v_{c,x} * t_{f,x} / 3600}} \quad (21)$$

1.12.1.7. Capacidades de movimiento - Rango 1

Como estos movimientos provienen de la carretera principal y su desplazamiento en la intersección no es afectada por ningún movimiento de rango inferior, no se realiza un cálculo para este factor.

1.12.1.8. Capacidad de movimiento – Rango 2

En este punto se deben calcular todas las capacidades de movimientos provenientes del rango 2, evaluándolos según su prioridad de movimiento:

1.12.1.8.1. Capacidad de movimiento para giro a la izquierda principal.

Transportation Research Board (2010) detalla que “la capacidad de movimiento de cada movimiento de giro a la izquierda de la calle principal Rango 2 (mov 1 y mov 4) es igual a su capacidad potencial”. (p.18) Por lo que este factor se expresa como:

$$C_{m,j} = C_{p,j} \quad (22)$$

1.12.1.8.2. Capacidad de movimiento para giro a la derecha secundario.

Al igual que el punto anterior, la capacidad de movimiento de los conductores que deciden girar a la derecha desde la carretera secundaria es igual a su capacidad potencial.

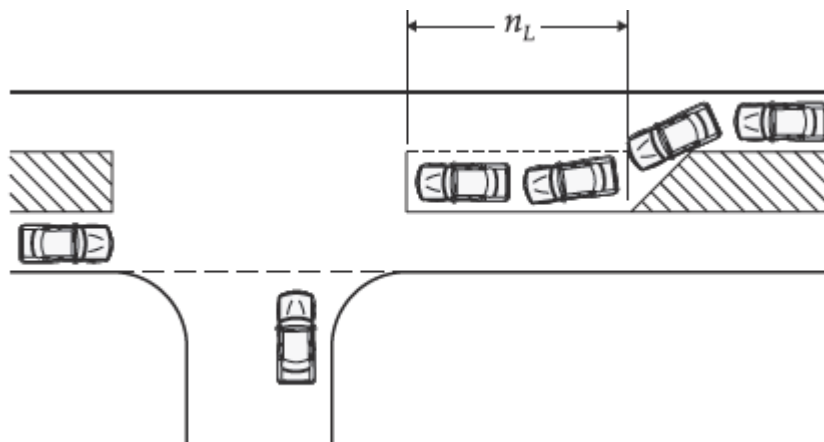
1.12.1.9. Capacidad de movimiento de rango 3 en una etapa.

Los movimientos de rango 3 se ven limitados a movimientos de rango menor, por lo que “la magnitud de la impedancia del vehículo depende de la probabilidad de que los vehículos que giran a la izquierda en la calle principal estén esperando un espacio aceptable al mismo tiempo que los vehículos de rango 3” (Transportation Research Board, 2010, p.22)

Es por esto que el manual representa el efecto del carril compartido de la calle principal y el giro a la izquierda, demostrando que la probabilidad de giro a la izquierda funcione en un estado sin cola, es importante recalcar que este factor se evalúa solamente para movimientos de rango 2 de la carretera principal. Lo anterior se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P_{o,j} = 1 - \frac{v_j}{C_{m,j}} \quad (23)$$

Sin embargo, el manual detalla que, si el carril de giro a la izquierda de la



carretera principal presenta un bolsillo corto de giro, se debe analizar este hecho, pero en casos en el que no se presente una longitud exclusiva para estos movimientos realiza un análisis de la siguiente manera:

Ilustración 26 Bolsillo de giro a la izquierda principal
Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

$$p_{o,j}^* = 1 - \frac{1-p_{o,j}}{1-x_{i,1+2}} \quad (24)$$

$$x_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{s_{i1}} + \frac{v_{i2}}{s_{i2}} \quad (25)$$

Donde:

$x_{i,1+2}$ = Grado de saturación combinado para los movimientos de la carretera principal.

v_{i1} = Flujo de circulación que atraviesan la intersección desde la carretera principal (veh/h)

v_{i2} = Flujo de circulación de giros a la derecha de la carretera principal. (veh/h)

s_{i1} = Tasa de flujo de saturación para los movimientos de la calle principal (el valor predeterminado es de 1.800 veh / h)

s_{i2} = Tasa de flujo de saturación para los movimientos de giro a la derecha de la calle principal (el valor predeterminado se asume que es de 1.500 veh / h)

Para realizar el cálculo de la capacidad de movimientos de rango 3, este es igual a la capacidad de movimiento por el factor de ajuste de capacidad calculada anteriormente, por lo que esta capacidad se representa mediante:

$$C_{m,k} = C_{p,k} * f_k \quad (26)$$

Donde:

$$f_k = \prod_j P_{o,j} \quad (27)$$

1.12.1.10. Capacidad de movimiento – Rango 4

La probabilidad de que los movimientos de este rango operen en estado libre de colas, se ve directamente afectado por las colas en el movimiento de giro a la izquierda de la calle mayor, es por esto que se debe calcular la dependencia estadística como se muestra.

$$p' = 0,65p'' - \frac{p''}{p''+3} + 0,6\sqrt{p''} \quad (28)$$

$$p'' = p_{oj} * p_{ok} \quad (29)$$

Donde:

p_{oj} = probabilidad de un estado libre de cola para el tráfico de giro a la izquierda de la calle principal.

p_{ok} = probabilidad de un estado sin cola para el tráfico que atraviesa la intersección desde la calle menor.

Para lograr obtener la capacidad de movimiento de este rango, es necesario primero calcular un ajuste de la capacidad de la siguiente manera:

$$f_{p,l} = p' * p_{oj} \quad (30)$$

Donde:

l = movimiento de giro a la izquierda de la calle menor (Movimientos 7 y 10)

j = movimiento de giro a la derecha en la calle menor (movimientos 9 y 12)

Para concluir, el ajuste de la capacidad simplemente se multiplica por la capacidad potencial que presenta el movimiento de rango 4 (Transportation Research Board, 2010).

$$C_{m,l} = C_{p,l} * f_{p,l} \quad (31)$$

1.12.1.11. Ajuste de la capacidad final

Transportation Research Board (2010) menciona “Cuando varios movimientos comparten el mismo carril y no puede detenerse uno al lado del otro en la línea de parada, debe calcularse un ajuste de la capacidad” (p.25). Dicho cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$C_{SH} = \frac{\sum_Y v_y}{\sum_y \left(\frac{v_y}{C_{m,y}} \right)} \quad (32)$$

Donde:

C_{SH} = capacidad del carril compartido (veh/h)

v_y = Caudal de movimiento en el carril compartido (veh/h)

$C_{m,y}$ = capacidad de movimiento en el carril compartido (veh/h)

1.12.1.11.1. Calculo de efecto de giro a la derecha secundario ensanchado

En muchas intersecciones se presenta que el giro a la derecha secundario opera en un carril exclusivo mientras que los otros movimientos transitan en otro carril como se detalla en la siguiente imagen.

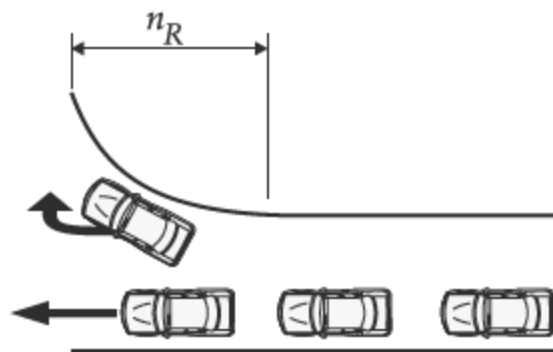


Ilustración 27 Carril de giro a la derecha ensanchado.
Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

Para estimar la capacidad se debe calcular la longitud de cola promedio para cada movimiento compartido por este carril (Transportation Research Board, 2010), para esto se inicia con el siguiente cálculo.

$$Q_{sep} = \frac{d_{sep} * v_{sep}}{3600} \quad (33)$$

Donde:

d_{sep} = Retardo de control para el movimiento considerado como un carril separado.

v_{sep} = Caudal del movimiento a evaluar (veh/h)

Una vez obtenida la longitud de cola promedio, se debe realizar un cálculo donde se demuestre una longitud de área máxima que permita la efectividad de carriles separados, esto mediante la siguiente ecuación:

$$n_{max} = \text{Max}_i [\text{redondear}(Q_{sep,i} + 1)] \quad (34)$$

Además del cálculo realizado, se debe demostrar la capacidad del tráfico en una condición de carril independiente como se muestra:

$$C_{sep} = \text{Min} \left[C_R \left(1 + \frac{V_{L+TH}}{V_R} \right), C_{L+TH} \left(1 + \frac{V_R}{V_{L+TH}} \right) \right] \quad (35)$$

Donde:

C_{sep} = Suma de las capacidades del tráfico que opera en un carril separado (veh/h)

C_R = Capacidad del movimiento de giro a la derecha (veh/h)

C_{L+TH} = Capacidad de los movimientos a través y de giro a la izquierda como un carril compartido (veh/h)

V_R = Flujo de movimiento para giro a la derecha (veh/h)

V_{L+TH} = Flujo de movimientos a través y de giro a la izquierda (veh/h)

Finalmente se calcula la capacidad del carril, incluyendo el movimiento de giro a la derecha ensanchado, en este punto se debe realizar el cálculo dependiendo de la longitud de carril compartido, debido a que si este es menor a la longitud de área máxima, se debe realizar la ecuación 36, de lo contrario la capacidad se calcula con la ecuación 37 (Transportation Research Board, 2010).

$$C_R = (C_{sep} - C_{SH}) \frac{n_r}{n_{Max}} + C_{SH} \quad (36)$$

$$C_R = C_{sep} \quad (37)$$

1.12.1.12. **Calculo del control de retraso.**

Como se ha detallado en este documento, el retraso vivió por el conductor se ve limitado por varios factores como cansancio, estrés, geometría de la vía, poca señalización e incluso accidentes. A este tiempo de demora Transportation Research Board (2010) lo define como:

El retraso de control incluye el retraso debido a la desaceleración hasta una parada en la parte posterior de la cola debido a la velocidad del flujo libre, el tiempo de movimiento dentro de la cola, el retraso detenido en la parte delantera de la cola y el retraso debido a la aceleración de regreso a la velocidad del flujo libre. (p.27)

1.12.1.12.1.1. *Calculo de control de retraso para rangos superiores a 2*

En este punto se calcula el control de retraso que afecta a todos los movimientos a excepción del rango 1, esto con respecto a la siguiente formula:

$$d_x = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900 * T \left(\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}}\right) * \left(\frac{v_x}{C_{m,x}}\right)}{450 * T}} \right) + 5 \quad (38)$$

1.12.1.12.1.2. *Calculo de control de retraso para rango 1*

Al ser estos los movimientos de rango principal, no deberían de estar afectados por ningún otro movimiento, pero al no presentarse un bolsillo de giro exclusivo a la izquierda de la carretera principal, podría bloquear los vehículos que circulan tras él. En el Transportation Research Board (2010) se afirma: “Las

observaciones de campo han demostrado que tal efecto de bloqueo suele ser muy pequeño, porque la calle principal generalmente proporciona suficiente espacio”. (p.28)

El control de retraso promedio para movimientos de rango 1 se calcula dependiendo del número de carriles en la carretera principal, si se presentaran más de 1 carril se evalúa con la ecuación 39, por otra parte si se presenta solamente un carril se debe calcular con la ecuación 40 la siguiente manera:

$$d_{Rank1} = \frac{(1-p^*_{o,j})d_{M,LT}\left(\frac{v_{i,1}}{N}\right)}{v_{i,1}+v_{i,2}} \quad (39)$$

$$d_{Rank1} = (1 - p^*_{o,j})d_{M,LT} \quad (40)$$

Donde:

d_{Rank1} =Control de retraso para movimientos de rango 1 (s/veh)

N = Número de carriles por dirección en la calle principal.

$p^*_{o,j}$ = Proporción de vehículos de rango 1 no bloqueados.

$d_{M,LT}$ = Control de retraso de los vehículos que giran a la izquierda de la calle principal (s/veh)

$v_{i,1}$ =Flujo de movimiento de la calle mayor a través de carriles compartidos (veh/h)

$v_{i,2}$ =Flujo de movimiento de giro de la calle mayor de carriles compartidos (veh/h)

1.12.1.13. Retraso de control de la intersección

Para el cálculo del retraso de control de la intersección Transportation Research Board afirma que “El retraso de control para todos los vehículos ..., se puede calcular como el promedio ponderado de las estimaciones de retardo de control para cada movimiento en el enfoque” (2010, p.29). Esto se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$d_A = \frac{d_r v_r + d_t v_t + d_l v_l}{v_r + v_t + v_l} \quad (41)$$

Donde:

d_A = Control de retraso en la intersección (s/veh)

d_r, d_t, d_l = retraso de control calculado para los movimientos de giro a la derecha, a través y a la izquierda, respectivamente (s/veh)

$v_r + v_t + v_l$ = volumen o caudal de tráfico de giro a la derecha, a través y de giro a la izquierda, respectivamente (veh/h)

Del mismo modo se debe calcular el retraso de control de toda la intersección, analizando la misma de la siguiente manera:

$$d_I = \frac{d_{A,1} v_{A,1} + d_{A,2} v_{A,2} + d_{A,3} v_{A,3} + d_{A,4} v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}} \quad (42)$$

1.12.1.14. *Calculo de percentil de colas*

Los estudios realizados en Transportation Research Board (2010) deducen que:

Los estudios teóricos y las observaciones empíricas han demostrado que la distribución de probabilidad de la longitud de colas para cualquier movimiento menor en la intersección es una función de la capacidad del movimiento y el volumen de tráfico que se atiende durante el periodo de análisis. (p.16).

Esta estimación de la longitud de cola para cualquier movimiento menor se puede calcular por medio de la ecuación 43:

$$Q_{95} \approx 900T \left[\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot v_x}{C_{m,x} \cdot C_{m,x}}} \right] * \frac{C_{m,x}}{3600} \quad (43)$$

Al concluir con estos cálculos se puede demostrar la capacidad de nivel del servicio vivido en la intersección, con esto se detalla por cada movimiento su comportamiento y la posibilidad de que se vuelva a repetir estos factores con una probabilidad del 95%.

1.13. Synchro

El software Synchro Estudio es una aplicación que ofrece un análisis y optimización macroscópica de las vías. Desde la sexta edición de este programa se ajusta al Manual HCM 2010 para intersecciones y rotondas. Además, implementa el método de utilización de la capacidad de intersección para poder evaluar las mismas.

2. CAPITULO II MARCO METODOLÓGICO

2.1. Definición del enfoque y método de investigación

Para esta investigación es fundamental efectuar una correcta comparación de los dos métodos que se van a emplear para el levantamiento vehicular en la zona central de la provincia de Heredia, definiendo factores que limiten el tránsito libre y modulándolo por medio de un software que permita una comparación con los datos obtenidos del manual HCM.

2.2. Tipo de estudio

Para efectos de este proyecto se realizarán estudios basándose en métodos descriptivos y correlacionales. El método descriptivo se enfoca en el fenómeno de estudio y sus componentes, midiendo conceptos y definiendo todo tipo de variables. Por otro lado, se pretende realizar un método correlacional ya que al tomar muestras de campo se logra apreciar la realidad vivida, con el fin de comparar los métodos estudiados y explicando cuál de estos se ajusta y presenta resultados óptimos.

Los autores H Sampieri, F Collado & B Lucio (2010) definen los métodos utilizados en la investigación:

Estudio descriptivo. Buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

Estudio correlacional: Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. (p.42)

2.3. Enfoque cualitativo

Por lo desarrollado en el capítulo I se consideró apropiado plantear la investigación bajo la de un enfoque cualitativo, debido a que es indispensable la recopilación de datos que debe ser procesada y analizada por medio de su

correspondiente tabulación demostrando de manera gráfica los resultados que se lograran obtener.

Además, Render, Stair, JR y Hanna (2012) mencionan que "...el enfoque cuantitativo consiste en definir un problema, desarrollar un modelo, adquirir datos de entrada, desarrollar una solución, probar la solución, analizar los resultados e implementar los resultados"

2.4. Muestra

La muestra para alcanzar el objetivo específico de este proyecto será directamente la cantidad de vehículos que circulen por las vías céntricas de la provincia de Heredia, ya que de él es que depende el desarrollo del proyecto.

2.5. Instrumentos y técnicas utilizadas en la recopilación de datos

Es importante analizar la forma en que se recolectará la información para alcanzar los objetivos propuestos, en este caso va directamente relacionado con las características que las vías presenten. La dirección general del MOPT cuenta con un registro de las características físicas con las que cuenta las vías por lo que el dimensionamiento existente se recopilara por medio de este registro nacional.

Para lograr realizar un levantamiento vehicular es indispensable obtener datos de ingreso como lo es el ancho de calzada y capacidad vehicular por lo que se pretende visitar el campo y realizar un conteo vehicular en distintos horarios con el fin de demostrar el comportamiento real de estas intersecciones.

Estos conteos se realizarán en 2 intersecciones del sector central de Heredia, en los alrededores del liceo de Heredia, realizando 4 aforos vehiculares por intersección, dos de estas en horas pico de la mañana y las otras dos se realizarán en el lapso de tiempo en la tarde donde se presente mayor flujo vehicular.

Para la toma de datos se utilizará una computadora portátil por medio de la cual se podrá recopilar el levantamiento vehicular de forma más precisa, apoyándose con la implementación de una cámara que permita corroborar que los datos obtenidos son precisos y reales. Además, se utilizará un odómetro con el cual se medirán varias secciones de la vía con el objetivo de macar la carretera y así sea más sencillo observar la longitud de cola que se presente en la vía. Con ayuda de un cronometro se podrá medir el control de retraso que provocan estas longitudes de cola, este tiempo se tomara en el preciso momento en el que el vehículo se sitúa en la última posición de la cola, hasta que realiza su movimiento en la intersección.

Una vez obtenido el levantamiento vehicular se procede a realizar todos los pasos enlistados en el capítulo de intersecciones controladas por alto publicadas en Transportation Research Board (2010), esto mediante una hoja de cálculo realizada en Excel. Al concluir con estos cálculos se procede a simular lo recopilación por medio del software Synchro 8.

3. CAPITULO III ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo se basa en el estudio de las intersecciones controladas con señales de alto, ya sea en configuraciones típicas de cuatro patas (unión de 4 vías), o se puede presentar por medio de tres patas con la unión de una vía secundaria a una vía principal.

Para el análisis de estas intersecciones es necesario comprender la interacción e interpretación de los viajeros en las vías menores, con relación a los viajeros de vías mayores, ya que estos son los que toman la decisión de en qué momento ingresar a la vía.

3.1. Análisis de la gestión vehicular

Se realizaron 4 aforos vehiculares por cada intersección, una en horas pico de la mañana (6:00 am – 8:00 am) y en horas de la tarde (4:30 pm – 6:30 pm), evaluando el flujo vehicular en intervalos de 15 min en los cuales se lleva a cabo un levantamiento del volumen vehicular subdividiéndolo con sus respectivas rutas, ya sea giro a la izquierda, giro a la derecha o si el movimiento es continuo en la vía en la que circula.

3.1.1. Intersección #1 Avenida central – calle 3

La primera intersección a evaluar se ubica en la esquina sureste del Liceo de Heredia, específicamente entre la avenida central y calle 3, la intersección está controlada por una señal de alto, siendo la calle principal la vía en sentido este – oeste, mientras que la calle menor es la vía con sentido norte – sur.



Ilustración 28 Intersección #1 Avenida central – calle 3

Fuente: Propia

La calle principal presenta una sección transversal con un ancho total de 11,1 m los cuales se distribuyen en una calzada de 6,7 m, cordón de caño de 0,4 m y presenta una acera en el extremo norte de 1,3 m, mientras que la acera del extremo sur es de 2,3 m. La cantidad de movimientos que se realizan en esta intersección se muestran en la siguiente imagen, siendo los movimientos 12 y 11 limitados con un alto y los movimientos 5 y 4 los que llevan prioridad de vía.

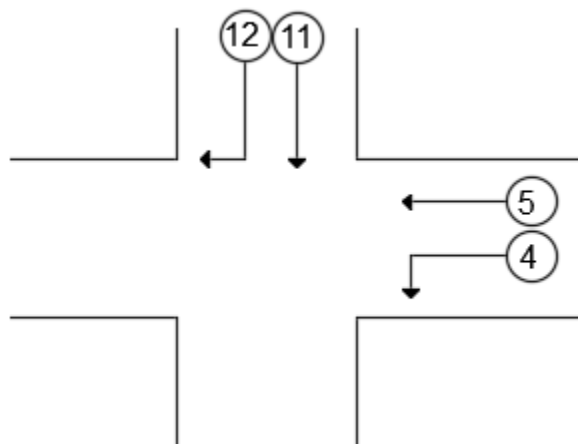


Ilustración 29 Movimientos de la intersección #1
Fuente: Propia

Se realizó un levantamiento del volumen vehicular para la intersección #1 los días 30 de noviembre y 3 de diciembre iniciando a las 6:00 am, realizando un conteo vehicular distribuido en lapsos de 15 minutos durante dos horas. El resultado del levantamiento del volumen vehicular por aforo se muestra en la siguiente tabla

Tabla 5 *Volumen vehicular - aforo #1*

Lapso de análisis	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12	Total
6:00 am - 6:15 am	118	10	86	12	226
6:15 am - 6:30 am	125	8	80	9	222
6:30 am - 6:45 am	175	12	73	15	275
6:45 am - 7:00 am	157	6	96	28	287
7:00 am - 7:15 am	187	8	98	15	308
7:15 am - 7:30 am	129	9	72	14	224
7:30 am - 7:45 am	139	12	73	16	240
7:45 am - 8:00 am	133	10	72	20	235

Fuente: Propia

Tabla 6 *Volumen vehicular - aforo #2*

Lapso de análisis	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12	Total
4:30 pm - 4:45 pm	91	18	53	11	173
4:45 pm - 5:00 pm	105	22	51	13	191
5:00 pm - 5:15 pm	112	15	61	20	208
5:15 pm - 5:30 pm	109	14	66	28	217
5:30 pm - 5:45 pm	110	16	63	21	210
5:45 pm - 6:00 pm	100	33	82	28	243
6:00 pm - 6:15 pm	90	18	63	15	186
6:15 pm - 6:30 pm	111	18	70	35	234

Fuente: Propia

Tabla 7 Volumen vehicular - aforo #3

Lapso de análisis	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12	Total
6:00 am - 6:15 am	167	8	65	10	250
6:15 am - 6:30 am	130	6	73	11	220
6:30 am - 6:45 am	127	7	79	15	228
6:45 am - 7:00 am	134	9	57	22	222
7:00 am - 7:15 am	136	9	67	17	229
7:15 am - 7:30 am	145	9	78	22	254
7:30 am - 7:45 am	133	13	61	14	221
7:45 am - 8:00 am	115	15	53	8	191

Fuente: Propia

Tabla 8 Volumen vehicular - aforo #4

Lapso de análisis	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12	Total
4:30 pm - 4:45 pm	109	23	52	12	196
4:45 pm - 5:00 pm	111	27	62	20	220
5:00 pm - 5:15 pm	122	25	43	13	203
5:15 pm - 5:30 pm	115	21	61	16	213
5:30 pm - 5:45 pm	118	23	56	18	215
5:45 pm - 6:00 pm	114	14	68	15	211
6:00 pm - 6:15 pm	99	23	56	18	196
6:15 pm - 6:30 pm	114	16	59	19	208

Fuente: Propia

Para el análisis de este proyecto, se evalúa la intersección con los datos obtenidos en el pico de hora, esto hace referencia a que, en el lapso de dos horas se debe presentar un mayor tránsito vehicular, por ejemplo, el caso del primer aforo, presentando entre las 6:30 am – 7:30 am más movimiento vehicular.

Otros datos que se lograron obtener en el campo son las longitudes de cola y el tiempo que se retarda en ellas, mostrando solamente la longitud y el retraso promedio de toda la hora evaluada.

Tabla 9 Longitud de cola y retraso de control de campo - intersección 1

Descripción	Movimiento calle principal	Movimiento calle secundaria
Aforo #1		
Longitud de cola	12,8 (m)	36,8 (m)
Retraso de control	9,44 (s)	26,37 (s)
Aforo #2		
Longitud de cola	13,5 (m)	58,95 (m)
Retraso de control	11,18 (s)	75,915 (s)
Aforo #3		
Longitud de cola	17,67 (m)	26,9 (m)
Retraso de control	12,97 (s)	23,44 (s)
Aforo #4		
Longitud de cola	26,3 (m)	42,8 (m)
Retraso de control	39,7 (s)	85,33 (s)

Fuente: Propia

3.1.2. Intersección #2 Avenida central – calle 1

La segunda intersección evaluada se ubica en la esquina suroeste del Liceo de Heredia, entre la avenida central y calle 1, la intersección está controlada por una señal de alto, siendo la calle principal la vía en sentido este – oeste, mientras que la calle menor es la vía con sentido sur - norte.



Ilustración 30 Intersección #2 Avenida central – calle 1

Fuente: Propia

La carretera principal de esta intersección presenta un ancho total de 11,6 m, el cual contiene una calzada de 6,7 m, cordón de caño de 0,4 m y presenta una acera de 1,8 m y de 2,3 m. La cantidad de movimientos que se realizan en esta intersección se muestran en la siguiente imagen, siendo los movimientos 7 y 8 limitados con un alto y los movimientos 5 y 6 los que llevan prioridad de vía.

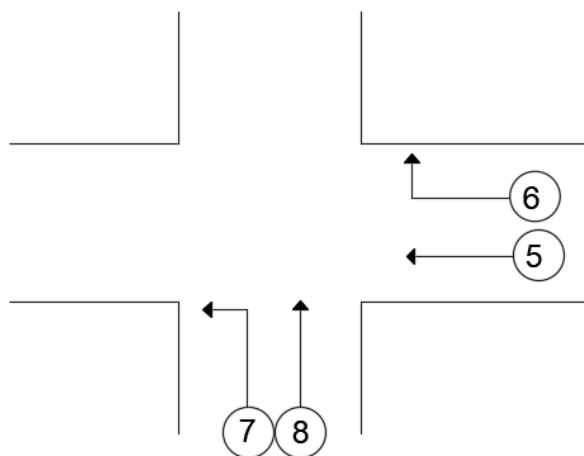


Ilustración 31 Movimientos de la intersección #2
Fuente: Propia

A continuación, se resume el levantamiento del volumen vehicular para la intersección #2 realizada los días 4 y 5 de diciembre:

Tabla 10 Volumen vehicular - aforo #5

Lapso de análisis	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6	Total
6:00 am - 6:15 am	48	2	121	5	176
6:15 am - 6:30 am	52	1	131	7	191
6:30 am - 6:45 am	51	4	146	3	204
6:45 am - 7:00 am	43	13	110	3	169
7:00 am - 7:15 am	41	7	118	5	171
7:15 am - 7:30 am	52	11	133	4	200
7:30 am - 7:45 am	50	13	99	8	170
7:45 am - 8:00 am	63	16	112	18	209

Fuente: Propia

Tabla 11 Volumen vehicular - aforo #6

Lapso de análisis	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6	Total
4:30 pm - 4:45 pm	60	4	31	24	119
4:45 pm - 5:00 pm	65	6	101	18	190
5:00 pm - 5:15 pm	44	2	99	24	169
5:15 pm - 5:30 pm	64	5	116	28	213
5:30 pm - 5:45 pm	67	10	120	20	217
5:45 pm - 6:00 pm	54	7	102	13	176

6:00 pm - 6:15 pm	78	12	111	14	215
6:15 pm - 6:30 pm	89	6	115	19	229

Fuente: Propia

Tabla 12 Volumen vehicular - aforo #7

Lapso de análisis	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6	Total
6:00 am - 6:15 am	48	4	112	4	168
6:15 am - 6:30 am	55	6	127	5	193
6:30 am - 6:45 am	37	8	132	5	182
6:45 am - 7:00 am	57	13	121	11	202
7:00 am - 7:15 am	44	5	131	9	189
7:15 am - 7:30 am	49	5	108	10	172
7:30 am - 7:45 am	62	10	98	6	176
7:45 am - 8:00 am	38	7	89	6	140

Fuente: Propia

Tabla 13 Volumen vehicular - aforo #8

Lapso de análisis	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6	Total
4:30 pm - 4:45 pm	67	7	95	18	187
4:45 pm - 5:00 pm	71	8	99	23	201
5:00 pm - 5:15 pm	68	5	105	31	209
5:15 pm - 5:30 pm	76	9	95	25	205
5:30 pm - 5:45 pm	88	9	101	15	213
5:45 pm - 6:00 pm	72	16	100	20	208
6:00 pm - 6:15 pm	69	5	103	13	190
6:15 pm - 6:30 pm	91	11	106	29	237

Fuente: Propia

Esta intersección al igual que la primera se logró obtener la longitud de cola y el control de retraso promedio como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 14 Longitud de cola y retraso de control de campo - intersección 2

Descripción	Movimiento calle principal	Movimiento calle secundaria
Aforo #4		
Longitud de cola	10 (m)	31,18 (m)
Retraso de control	12,2 (s)	35,17 (s)
Aforo #5		
Longitud de cola (m)	76,5 (m)	44,82 (m)
Retraso de control	80,3 (s)	42,7 (s)

(s)		
Aforo #6		
Longitud de cola (m)	11 (m)	21,37 (m)
Retraso de control (s)	13,6 (s)	28,44 (s)
Aforo #7		
Longitud de cola (m)	80,89 (m)	41,2 (m)
Retraso de control (s)	86,57 (s)	41,92 (s)

Fuente: Propia

3.2. Análisis del procedimiento HCM 2010

Para la evaluación de las intersecciones por medio del manual se respetan los movimientos de la imagen 21 identificándolos con su respectiva intersección.

3.2.1. Intersección #1

Para dar inicio con los cálculos enlistados en el Manual HCM (2010) se debe calcular el porcentaje de vehículos pesados, además del volumen total por hora y el factor PHF dependiendo de su respectivo movimiento, según la ecuación (7), obteniendo:

Tabla 15 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – aforo 1*

Descripción	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12
PHF	0,87	0,73	0,86	0,74
Volumen total por hora (veh/h)	648	35	339	86
Total pesados (Veh)	26	8	71	3
Porcentaje de vehículos pesados (%)	4%	23%	21%	3%

Fuente: Propia

Tabla 16 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – aforo 2*

Descripción	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12
PHF	0,96	0,59	0,83	0,87
Volumen total por hora (veh/h)	431	78	272	97
Total pesados (Veh)	41	7	66	4
Porcentaje de vehículos pesados (%)	10%	9%	24%	4%

Fuente: Propia

Tabla 17 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – aforo 3*

Descripción	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12
PHF	0,93	0,94	0,89	0,86
Volumen total por hora (veh/h)	542	34	281	76
Total pesados (Veh)	23	12	66	2
Porcentaje de vehículos pesados (%)	4%	35%	23%	3%

Fuente: Propia

Tabla 18 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – aforo 4*

Descripción	Movimiento 5	Movimiento 4	Movimiento 11	Movimiento 12
PHF	0,95	0,89	0,90	0,84
Volumen total por hora (veh/h)	466	96	222	67
Total pesados (Veh)	34	7	56	2
Porcentaje de vehículos pesados (%)	7%	7%	25%	3%

Fuente: Propia

Se procede con el cálculo de las tasas de flujo vehicular realizados mediante la ecuación (10), mostradas en la siguiente tabla con su respectivo orden de prioridad de rango, siendo el movimiento 5 perteneciente al rango 1, los movimientos 4 y 12 son rango 2 y finalmente el movimiento 11 se comporta como rango 3.

Tabla 19 *Tasas de flujo vehicular – intersección 1*

Tasa de flujo	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
u_5	216 (veh/h)	116 (veh/h)	155 (veh/h)	128 (veh/h)
u_4	16 (veh/h)	56 (veh/h)	10 (veh/h)	30 (veh/h)
u_{12}	39 (veh/h)	32 (veh/h)	25 (veh/h)	24 (veh/h)
u_{11}	113 (veh/h)	99 (veh/h)	89 (veh/h)	69 (veh/h)

Fuente: Propia

Para el siguiente paso se debe calcular el flujo conflictivo para cada movimiento según su rango, calculado mediante las ecuaciones expresadas en el capítulo 1 y dando como resultado:

Tabla 20 Tasa de flujo conflictiva – intersección 1

Tasa de flujo conflictiva	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
u_{c5}	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)
u_{c4}	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)
u_{c12}	216 (veh/h)	116 (veh/h)	155 (veh/h)	128 (veh/h)
u_{c11}	249 (veh/h)	228 (veh/h)	174 (veh/h)	189 (veh/h)

Fuente: Propia

Se debe recalcar que los movimientos 5 al ser rango 1 tienen prioridad ante los otros movimientos por lo que el flujo conflictivo es de 0 veh/h, mientras que para los movimientos 4 no afecta ningún movimiento de la ecuación (12), ya que los movimientos 2 y 3 no se presentan en la intersección evaluada.

Prosigue el cálculo de las capacidades potenciales según la ecuación (21), para la cual se utilizan los factores de seguimiento y avance enlistados en la tabla 4, al realizar estos cálculos se tiene como resultado:

Tabla 21 Capacidades potenciales – intersección 1

Capacidad potencial	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
$C_{p,5}$	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)
$C_{p,4}$	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)
$C_{p,12}$	1142 (veh/h)	1248 (veh/h)	1206 (veh/h)	1236 (veh/h)
$C_{p,11}$	875 (veh/h)	894 (veh/h)	944 (veh/h)	931 (veh/h)

Fuente: Propia

Al no existir tasa de flujo conflictiva para movimientos de rango 1 esta toma un valor de 1700 veh/h, ya que se representa una capacidad máxima para este rango, mientras que para los movimientos 4, de igual manera al no presentar flujo conflictivo, la capacidad potencial es 1700 veh/h.

Siguiendo con el análisis establecido en el Manual HCM (2010) se debe calcular la capacidad de movimiento, para los vehículos que recaen en la categoría de rango 2 esta capacidad es igual a su capacidad potencial como se detalla en la tabla.

Tabla 22 Capacidades de movimiento - rango 2 – intersección 1

Capacidad de movimiento	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
$C_{m,5}$	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)
$C_{m,4}$	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)
$C_{m,12}$	1142 (veh/h)	1248 (veh/h)	1206 (veh/h)	1236 (veh/h)

Fuente: Propia

Para realizar el cálculo de la capacidad de movimiento del rango 3 se debe calcular un ajuste, el cual está relacionado directamente con los movimientos 1 y 4 como se muestra en la ecuación (23). Al no presentarse movimiento 1, el único movimiento que afecta sería el 4 y este presenta un uso de carriles compartidos por lo que el factor de ajuste se debe calcular mediante la ecuación (24). Por lo tanto la capacidad de movimiento de rango 3, es igual a su capacidad potencial por el factor de ajuste como se muestra en la tabla.

Tabla 23 Capacidad de movimiento rango 3 – intersección 1

Descripción	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
$P_{o,1}$	1	1	1	1
x_{2+3}	0	0	0	0
$p_{o,1}^*$	1	1	1	1

$P_{o,4}$	0,99	0,97	0,99	0,98
x_{5+6}	0,13	0,07	0,09	0,08
$p^*_{o,4}$	0,99	0,96	0,99	0,98
f_k	0,99	0,96	0,99	0,98
$C_{m,11}$	865,73 (veh/h)	862,48 (veh/h)	938,35 (veh/h)	912,65 (veh/h)

Fuente: Propia

Esta intersección no cuenta con un movimiento de rango 4, por lo que se procede a realizar el cálculo del ajuste de la capacidad final, iniciando con la evaluación de un carril compartido en la carretera secundaria, teniendo en cuenta que las tasas de flujo a utilizar son las provenientes de la carretera secundaria que presenta el carril compartido según se detalla en la ecuación (32)

Tabla 24 Capacidad de carril compartido carretera secundaria – intersección 1

Efecto de carril compartido carretera secundaria	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
C_{SH}	922,99 (veh/h)	933,55 (veh/h)	987,11 (veh/h)	978,19 (veh/h)

Fuente: Propia

En este punto se debe evaluar si el movimiento de giro a la derecha de la carretera secundaria se puede dar a través de un bordillo corto de giro exclusivo, para el cual se debe calcular una longitud de cola promedio según la ecuación (33), con el objetivo de definir un área mínima para que este movimiento se realice exclusivamente. Es por esto que se debe calcular el control de retraso para los movimientos 11 y 12 con el objetivo de ser utilizados en esta evaluación.

Tabla 25 Retraso de control y longitud de cola promedio para carretera secundaria – intersección 1

Control de demora y longitud de cola promedio	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
---	-----------	-----------	-----------	-----------

$d_{sep,11}$	9,78 (s/veh)	9,71 (s/veh)	9,24 (s/veh)	9,27 (s/veh)
$d_{sep,12}$	8,26 (s/veh)	7,96 (s/veh)	8,05 (s/veh)	7,97 (s/veh)
$Q_{sep,11}$	0,31 (veh)	0,27 (veh)	0,23 (veh)	0,18 (veh)
$Q_{sep,12}$	0,09 (veh)	0,07 (veh)	0,06 (veh)	0,05 (veh)

Fuente: Propia

Como se detalla en el párrafo anterior, es importante calcular un área Max que permita que el flujo vehicular que dobla a la derecha de la carretera secundaria se pueda realizar con un giro exclusivo, por lo que se realizan los cálculos establecidos en la ecuación (34), obteniendo un valor máximo proveniente del movimiento 11 dando como resultado:

Tabla 26 Área de almacenamiento máximo para bordillo de giro exclusivo - intersección 1

Área de almacenamiento máximo	Aforo #1	Aforo #2	Aforo #3	Aforo #4
n_{max}	1	1	1	1

Fuente: Propia

Con el objetivo de realizar un ajuste detallado a la capacidad final se debe suponer la condición de todo un carril separado para giro a la derecha, utilizando la ecuación (35), obteniendo:

Tabla 27 Capacidad de giro a la derecha menor en carril separado - intersección 1

Efecto de giro a la derecha en carril separado	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
C_{L+TH}	865,73 (veh/h)	862,48 (veh/h)	938,35 (veh/h)	912,65 (veh/h)
v_{L+TH}	113,32 (veh/h)	98,88 (veh/h)	88,84 (veh/h)	69,26 (veh/h)
C_{sep}	1164,57 (veh/h)	1144,47 (veh/h)	1207,41 (veh/h)	1227,32 (veh/h)

Fuente: Propia

Finalmente se realiza el cálculo del ajuste de la capacidad final, utilizando la ecuación (36) debido a que en la intersección no se presenta un bordillo de giro

exclusivo a la derecha, pero esta contiene suficiente espacio para que solamente el primer vehículo logre girar a la derecha, mientras que otro vehículo realiza otro movimiento, ambos desde la carretera secundaria. Por lo que se obtiene:

Tabla 28 *Capacidad de movimiento final para la carretera menor - intersección 1*

Capacidad de movimiento, calle menor	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
C_R	922,99 (veh/h)	933,55 (veh/h)	987,11 (veh/h)	978,19 (veh/h)

Fuente: Propia

Al obtener la capacidad final, se procede a calcular el retraso de control para todos los movimientos inferiores al rango 1, utilizando la capacidad de movimientos con sus respectivos ajustes para la carretera menor, como se muestra en la ecuación (38), se obtiene lo siguiente.

Tabla 29 *Control de retraso para movimientos inferiores a rango 1 – intersección 1*

Control de demora	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
d_4	7,14 (s/veh)	7,19 (s/veh)	7,13 (s/veh)	7,16 (s/veh)
d_{N-s}	9,67 (s/veh)	9,49 (s/veh)	9,12 (s/veh)	9,07 (s/veh)

Fuente: Propia

Cabe recalcar que como se realizaron ajustes a la capacidad final de la carretera menor, se obtuvo un control de retraso del conjunto de movimientos como se detalla en la tabla anterior, esto se refiere a que no se evalúa un control de retraso para los movimientos 11 y 12, sino que se calcula para todo el acceso de la carretera secundaria.

Para concluir con el cálculo del control de retraso de la intersección es importante calcular el retraso vivido por los movimientos de rango 1. Este análisis se ve limitado por la cantidad de carriles presentes, en este caso como solamente se cuenta con un carril, se debe de utilizar la ecuación (40), por lo que el análisis se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 30 *Control de retraso para movimientos rango 1 – intersección 1*

Control de demora	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
d_{RANK1}	0,08 (s/veh)	0,25 (s/veh)	0,04 (s/veh)	0,14 (s/veh)

Fuente: Propia

Al momento de tener el valor de los controles de retraso para todos los movimientos, se procede a calcular el retraso vivido por cada acceso como un conjunto, esto evaluando todos los movimientos provenientes de la carretera mayor como lo muestra la ecuación (41).

Tabla 31 Control de demora carretera principal - intersección 1

Demora del acceso E-O	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
$d_{A,e-o}$	0,58 (s/veh)	2,50 (s/veh)	0,45 (s/veh)	1,49 (s/veh)

Fuente: Propia

Una vez calculados los controles de retraso por cada carretera, se calcula la demora general que vive la intersección, basándose en la ecuación (42), dando como resultado:

Tabla 32 Control de retraso de la intersección 1

Control de demora de la intersección	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
d_I	4,18 (s/veh)	5,52 (s/veh)	4,01 (s/veh)	4,30 (s/veh)

Fuente: Propia

Para concluir con el análisis del manual se procede a calcular el percentil 95 de la longitud de cola para cada movimiento según la ecuación (43), por lo que se obtiene.

Tabla 33 Percentil de colas - intersección 1

Percentil de colas	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
$Q_{95,4}$	0,03	0,10	0,02	0,05
$Q_{95,N-s}$	0,59	0,49	0,39	0,31

Fuente: Propia

3.2.2. Intersección # 2

Al igual que la intersección 1, se debe seguir un proceso señalado en el manual HCM (2010), siendo prácticamente el mismo orden, a excepción de que esta intersección si cuenta con movimientos de rango 4 y carece de movimientos de rango 2. Para dar inicio se presenta la distribución del total de vehículos pesados, el volumen total por hora y el FHP:

Tabla 34 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – Aforo 5*

Descripción	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6
PHF	0,82	0,73	0,87	0,49
Volumen total por hora (veh/h)	206	47	462	35
Total pesados (Veh)	54	4	17	2
Porcentaje de vehículos pesados (%)	26%	9%	4%	6%

Fuente: Propia

Tabla 35 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – Aforo 6*

Descripción	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6
PHF	0,81	0,73	0,93	0,83
Volumen total por hora (veh/h)	288	35	448	66
Total pesados (Veh)	25	1	32	2
Porcentaje de vehículos pesados (%)	9%	3%	7%	3%

Fuente: Propia

Tabla 36 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – Aforo 7*

Descripción	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6
PHF	0,85	0,62	0,97	0,68
Total por movimiento (veh)	193	32	511	30
Total pesados (Veh)	43	1	24	1
Porcentaje de vehículos pesados	22%	3%	5%	3%

Fuente: Propia

Tabla 37 *Porcentaje de vehículos pesados, volumen total por hora y PHF – Aforo 8*

Descripción	Movimiento 8	Movimiento 7	Movimiento 5	Movimiento 6
PHF	0,88	0,64	0,97	0,66
Total por movimiento (veh)	320	41	410	77
Total pesados (Veh)	32	1	23	4
Porcentaje de vehículos pesados	10%	2%	6%	5%

Fuente: Propia

Una vez obtenidos los datos iniciales se procede con el cálculo del flujo vehicular según la ecuación (10).

Tabla 38 Tasas de flujo vehicular – intersección 2

Tasa de flujo	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
U_5	153 (veh/h)	129 (veh/h)	136 (veh/h)	110 (veh/h)
U_6	37 (veh/h)	24 (veh/h)	16 (veh/h)	44 (veh/h)
U_8	77 (veh/h)	110 (veh/h)	67 (veh/h)	104 (veh/h)
U_7	22 (veh/h)	16 (veh/h)	21 (veh/h)	25 (veh/h)

Fuente: Propia

En el siguiente paso se debe calcular el volumen conflictivo que afecta a cada movimiento de la intersección, como se detalla en la tabla los movimientos 5 y 6 no presentan flujo conflictivo debido a que los mismos son rangos prioritarios, por lo que se supone que no existen movimientos que los afecten:

Tabla 39 Tasa de flujo conflictiva - aforo 2

Tasa de flujo conflictiva	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
U_{C5}	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)
U_{C6}	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)	0 (veh/h)
U_{C8}	190 (veh/h)	153 (veh/h)	153 (veh/h)	153 (veh/h)

u_{c7}	172 (veh/h)	141 (veh/h)	144 (veh/h)	131 (veh/h)
----------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fuente: Propia

Prosigue el cálculo de las capacidades potenciales según la ecuación (21), para la cual se utilizan los factores de seguimiento y avance enlistados en la tabla 4, al realizar estos cálculos se tiene como resultado:

Tabla 40 *Capacidades potenciales – intersección 2*

Capacidad potencial	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
$C_{p,5}$	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)
$C_{p,6}$	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)	1700 (veh/h)
$C_{p,8}$	929 (veh/h)	965 (veh/h)	965 (veh/h)	964 (veh/h)
$C_{p,7}$	882 (veh/h)	912 (veh/h)	908 (veh/h)	921 (veh/h)

Fuente: Propia

Siguiendo con el análisis establecido en el Manual HCM (2010) se debe calcular la capacidad de movimiento, iniciando con el cálculo que recae en el rango 2, pero al no presentarse estos movimientos en la intersección se procede a evaluar los movimientos de rango 3. Se calcula en primer lugar un factor de ajuste de la capacidad según la ecuación (27) pero al no presentarse los movimientos 1 y 4 en la intersección tomarían el valor de 1:

Tabla 41 *Capacidades de movimiento rango 3 – intersección 2*

Capacidad de movimiento rango 3	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
$P_{o,1}$	1,00	1,00	1,00	1,00
x_{2+3}	0,00	0,00	0,00	0,00
$p^*_{o,1}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$P_{o,4}$	1,00	1,00	1,00	1,00

x_{5+6}	0,11	0,09	0,09	0,09
$p_{0,4}^*$	1,00	1,00	1,00	1,00
f_k	1,00	1,00	1,00	1,00
$C_{m,8}$	929,05 (veh/h)	964,83 (veh/h)	965,12 (veh/h)	964,35 (veh/h)

Fuente: Propia

Para el análisis de la capacidad de movimiento de rango 4 se deben calcular la dependencia estadística que sufren estos movimientos según la ecuación (28), al no existir movimientos 1, 4 y 11 el factor de ajuste sería igual a 1 por lo que la capacidad de movimiento sería igual a su capacidad potencial:

Tabla 42 Capacidades de movimiento rango 4 – intersección 2

Capacidad de movimiento rango 4	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
p''	1,00	1,00	1,00	1,00
p'	1,00	1,00	1,00	1,00
$f_{p,7}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$C_{m,7}$	882,37 (veh/h)	912,03 (veh/h)	908,37 (veh/h)	921,04 (veh/h)

Fuente: Propia

En el siguiente paso se calcula el ajuste de la capacidad para el caso que se presenten carriles compartidos en la carretera secundaria, al no presentarse giro a la derecha en la carretera menor, este cálculo se realiza por medio de la ecuación (32), involucrando solamente los movimientos 7 y 8 los cuales son provenientes de la carretera secundaria:

Tabla 43 Capacidad de carril compartido carretera secundaria – intersección 2

Efecto de carril compartido carretera secundaria	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
--	-----------	-----------	-----------	-----------

C_{SH-SN}	918,35 (veh/h)	957,62 (veh/h)	950,93 (veh/h)	955,62 (veh/h)
-------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Fuente: Propia

Se toma la decisión de evaluar un giro a la izquierda con un bordillo corto, esto debido a que el movimiento 7 se comporta igual que un movimiento de giro a la derecha ya que este no presenta movimientos conflictivos provenientes del acceso izquierdo.

Tabla 44 Efecto de giro a la derecha – intersección 2

Descripción	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
$d_{sep,7}$	9,18 (s/veh)	9,02 (s/veh)	9,06 (s/veh)	9,02 (s/veh)
$d_{sep,8}$	9,23 (s/veh)	9,21(s/veh)	9,01 (s/veh)	9,18 (s/veh)
Q_{sep7}	0,06 (veh)	0,04 (veh)	0,05 (veh)	0,06 (veh)
Q_{sep8}	0,20 (veh)	0,28 (veh)	0,17 (veh)	0,26 (veh)
n_{max}	1,00	1,00	1,00	1,00
C_{R+TH}	929,05 (veh/h)	964,83 (veh/h)	965,12 (veh/h)	964,35 (veh/h)
v_{R+TH}	77,07 (veh/h)	110,01 (veh/h)	67,34 (veh/h)	103,51 (veh/h)
C_{sep}	1191,70 (veh/h)	1109,16 (veh/h)	1267,89 (veh/h)	1197,03 (veh/h)

Fuente: Propia

Al realizar el análisis de todos estos efectos, se tiene una capacidad de movimiento de la carretera menor como se representa en la tabla.

Capacidad de movimiento, calle menor	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
C_R	918,35 (veh/h)	957,62 (veh/h)	950,93 (veh/h)	955,62 (veh/h)

Al tener una capacidad para carriles separados en la carretera secundaria, se debe respetar este factor y calcular el retraso de control de todos los movimientos de la carretera secundaria en general y no evaluarlos por cada movimiento separado, es por esto que se procede con el cálculo de la ecuación (38) para la capacidad de movimiento de la carretera sentido sur – norte dando como resultados los datos mostrados en la tabla:

Tabla 45 *Control de retraso para movimientos inferiores a rango 1 – intersección 2*

Control de demora	Aforo # 1	Aforo # 2	Aforo # 3	Aforo # 4
d_{S-N}	9,39 (s/veh)	9,33 (s/veh)	9,17 (s/veh)	9,35 (s/veh)

Fuente: Propia

En el caso de los movimientos de rango 1, se debe realizar el cálculo del control de retraso según las ecuaciones (39) y (40), pero al no presentarse control de retraso para los movimientos de giro a la izquierda de la carretera principal, esta toma el valor de 0 s/veh. El siguiente paso sería analizar el retraso de control general que vive la intersección según la ecuación (42) dando como resultado:

Tabla 46 *Control de retraso de la intersección 2*

Control de demora de la intersección	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 3	Aforo # 4
d_I	3,21 (s/veh)	4,23 (s/veh)	3,37 (s/veh)	4,26 (s/veh)

Fuente: Propia

Para concluir con el análisis de esta intersección se calcula el percentil 95 de la longitud de cola para cada movimiento según la ecuación (43), como se obtuvo una capacidad de movimiento debido a carriles compartidos de la carretera menor, se obtiene una longitud de cola general de la carretera menor, por otra parte la longitud de cola vivida en la carretera principal no se calcula debido a que no existe los movimiento 4 y que los movimientos 5 y 6 son de rango 1 por lo que no se ven limitados por ningún otro movimiento.

Tabla 47 Percentil de colas - intersección 2

Percentil de colas	Aforo # 5	Aforo # 6	Aforo # 7	Aforo # 8
$Q_{95,N-S}$	0,36 (veh)	0,45 (veh)	0,31 (veh)	0,46 (veh)

Fuente: Propia

3.3. Análisis del SYNCHRO

Para el análisis del programa SYNCHRO se decide trabajar con ambas intersecciones simultáneamente, ya que el sistema analiza cada nodo puntualmente. Los aforos realizados se distribuirán con su respectivo conteo similar, esto se refiere a que si se analizó una intersección en horas de la mañana se comparara con el aforo correspondiente a la segunda intersección igualmente en horas pico de la mañana.

Al realizar el análisis de esta manera, es evidente que el número de vehículos que entran en la intersección 2 no es la misma cantidad que los que salen de la intersección 1, estos valores no afectan los resultados ya que el sistema realiza correcciones correspondientes a estos movimientos.

La distribución de los aforos nos limita a un total de 4 análisis mediante este programa, dichas distribuciones son las siguientes:

- Evaluación 1: Aforo vehicular # 1 y aforo vehicular # 5, ambas analizadas en horas pico de la mañana.
- Evaluación 2: Aforo vehicular # 2 y el aforo vehicular # 6, realizadas en horas pico de la tarde.
- Evaluación 3: Aforo vehicular # 3 y el aforo vehicular #7, al igual que el primer punto de este análisis, se realizaron en horas pico de la mañana.
- Evaluación 4: Aforo vehicular # 4 y aforo vehicular # 8, esta última evaluación se realizó en horas pico de la tarde.

Los resultados de dichas evaluaciones se expresan de la siguiente manera.

3.3.1. Evaluación 1

Esta evaluación relaciona el aforo # 1 de la primera intersección y el aforo # 5 correspondiente a la segunda intersección, estos aforos fueron realizados en horas pico de la mañana, en la imagen se detalla la demanda total evaluados en la hora que circularon más vehículos, las casillas que se muestran en verde corresponden a una demanda igual a 0 veh ya que en estas intersecciones no se presenta movimiento.



Ilustración 32 Vista en planta de la evaluación 1

Fuente: Propia

En la siguiente imagen se muestra los datos ingresados al sistema con las características de los carriles, en él se puede observar el nombre de la intersección, la longitud que presentan sus accesos, velocidad, el flujo de

LANE SETTINGS												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	35	86	0	0	0	0	0	339	86
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 3			Calle 3		
Link Distance (m)	94.0			91.2			91.7			83.7		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.8			6.6			6.6			6.0		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			2			6			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
Storage Lanes (#)	-			-			-			-		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	-			-			-			-		
Add Lanes (#)	-			-			-			-		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	-			1.000			-			0.969		
Left Turn Factor (prot)	-			0.997			-			1.000		
Saturated Flow Rate (prot)	-			1578			-			1428		
Left Turn Factor (perm)	-			0.997			-			1.000		
Right Ped Bike Factor	-			1.000			-			1.000		
Left Ped Factor	-			1.000			-			1.000		
Saturated Flow Rate (perm)	-			1578			-			1428		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	-			0			-			0		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

saturación ideal, el ancho del carril y hasta su pendiente.

Ilustración 33 Características de los carriles del aforo 1 - evaluación 1
Fuente: propia













LANE SETTINGS	  			  			  			  		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	462	35	47	206	0	0	0	0
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 1			Calle 1		
Link Distance (m)	89.3			94.0			91.6			82.0		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.4			6.8			6.6			5.9		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			1			4			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
Storage Lanes (#)	-			-			-			-		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	-			-			-			-		
Add Lanes (#)	-			-			-			-		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	-			0.984			1.000			-		
Left Turn Factor (prot)	-			1.000			0.990			-		
Saturated Flow Rate (prot)	-			1579			1331			-		
Left Turn Factor (perm)	-			1.000			0.990			-		
Right Ped Bike Factor	-			1.000			1.000			-		
Left Ped Factor	-			1.000			1.000			-		
Saturated Flow Rate (perm)	-			1579			1331			-		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	-			0			0			-		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Ilustración 34 Características de los carriles del aforo 5 - evaluación 1
Fuente: Propia

Posterior a las características físicas, se muestra una ventana correspondiente a los factores provenientes del volumen vehicular, es aquí donde se ingresa el PFH y el porcentaje de vehículos pesados que circulan por cada acceso.

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	35	648	0	0	0	0	0	339	86
Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	0.73	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.74
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	23	4	0	0	0	0	0	21	3
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	EB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	48	745	0	0	0	0	0	394	116
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	793	0	0	0	0	0	510	0

Ilustración 35 Características del volumen vehicular del aforo 1 - evaluación 1
Fuente: Propia

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	462	35	47	206	0	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.49	0.73	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	0	4	6	9	26	0	0	0	0
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	WB	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	0	531	71	64	251	0	0	0	0
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	602	0	0	315	0	0	0	0

Ilustración 36 Características del volumen vehicular del aforo 5 - evaluación 1
Fuente: Propia

Por último, se deben agregar las características de la intersección, definiendo el tipo de control, prioridades de movimiento y características de cada acceso como lo es el avance crítico y el avance de seguimiento. En esta misma

SIGNING SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	35	648	0	0	0	0	0	339	86
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
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)	—	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tF (s)	—	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	—	—	—	0.03	0.03	—	—	—	—	—	1.02	1.02
Control Delay (s)	—	—	—	0.4	0.8	—	—	—	—	—	74.3	74.3
Level of Service	—	—	—	A	A	—	—	—	—	—	F	F
Queue Length 95th (m)	—	—	—	0.7	0.7	—	—	—	—	—	115.8	115.8
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	0.8	—	—	0.0	—	—	74.3	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	F	—

ventada el programa presenta los resultados esperados para este estudio, los cuales son el nivel de servicio, el control de demora máximo y la longitud de cola.

Ilustración 37 Características de la intersección 1 - evaluación 1

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	462	35	47	206	0	0	0	0
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
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	—	—	—	—	0.35	0.35	0.52	0.52	—	—	—	—
Control Delay (s)	—	—	—	—	0.0	0.0	17.4	17.4	—	—	—	—
Level of Service	—	—	—	—	A	A	C	C	—	—	—	—
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	0.0	0.0	24.4	24.4	—	—	—	—
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	17.4	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	C	—	—	A	—

Ilustración 38 Características de la intersección 2 - evaluación 1

Fuente: Propia

3.3.2. Evaluación 2

Esta evolución analiza el aforo #2 correspondiente a la intersección 1 y el aforo # 6 proveniente de la intersección #2, los aflros fueron realizados en la



tarde y presentan la siguiente distribución.

Ilustración 39 Vista en planta de la evaluación 2

Fuente: Propia

LANE SETTINGS												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	78	431	0	0	0	0	0	272	97
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 3			Calle 3		
Link Distance (m)	94.0			91.2			91.7			83.7		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.8			6.6			6.6			6.0		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			2			6			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	None			None			None			None		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	None			None			None			None		
Add Lanes (#)	None			None			None			None		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	None			1.000			None			0.966		
Left Turn Factor (prot)	None			0.989			None			1.000		
Saturated Flow Rate (prot)	None			1499			None			1399		
Left Turn Factor (perm)	None			0.989			None			1.000		
Right Ped Bike Factor	None			1.000			None			1.000		
Left Ped Factor	None			1.000			None			1.000		
Saturated Flow Rate (perm)	None			1499			None			1399		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	None			0			None			0		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Seguidamente se muestran las características presentes en los carriles.

Ilustración 40 Características de los carriles del aforo 2 - evaluación 2

Fuente: Propia

LANE SETTINGS												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	448	66	35	288	0	0	0	0
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 1			Calle 1		
Link Distance (m)	89.3			94.0			91.6			82.0		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.4			6.8			6.6			5.9		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			1			4			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	None			None			None			None		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	None			None			None			None		
Add Lanes (#)	None			None			None			None		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	None			0.981			1.000			None		
Left Turn Factor (prot)	None			1.000			0.994			None		
Saturated Flow Rate (prot)	None			1542			1512			None		
Left Turn Factor (perm)	None			1.000			0.994			None		
Right Ped Bike Factor	None			1.000			1.000			None		
Left Ped Factor	None			1.000			1.000			None		
Saturated Flow Rate (perm)	None			1542			1512			None		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	None			0			0			None		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Ilustración 41 Características de los carriles del aforo 6 - evaluación 2

Fuente: Propia

Se procede a mostrar los factores que afectan al volumen de las intersecciones.

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	78	431	0	0	0	0	0	272	97
Conflicting Peds. (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	0.59	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.87
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	9	10	0	0	0	0	0	24	4
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traffic from mid-block (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Link OD Volumes	EB											
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	132	449	0	0	0	0	0	328	111
Traffic in shared lane (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	581	0	0	0	0	0	439	0

Ilustración 42 Características del volumen vehicular del aforo 2 - evaluación 2
Fuente: Propia

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	448	66	35	288	0	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	0.83	0.73	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	0	7	3	3	9	0	0	0	0
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traffic from mid-block (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Link OD Volumes				WB								
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	0	482	80	48	356	0	0	0	0
Traffic in shared lane (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	562	0	0	404	0	0	0	0

Ilustración 43 Características del volumen vehicular del aforo 6 - evaluación 2
Fuente: Propia

Para concluir se muestran las características de cada intersección, además

SIGNING SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	78	431	0	0	0	0	0	272	97
Sign Control	Free	Free	Free	Free	Free	Free	Stop	Stop	Stop	Stop	Stop	Stop
Median Width (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TWLT Median	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Right Turn Channelized	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Critical Gap, tC (s)	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	5.2	5.2	5.2	5.2	4.5	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	3.2	3.2	3.2	3.2	2.6	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Control Delay (s)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9
Level of Service	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D
Queue Length 95th (m)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2
Approach Delay (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9
Approach LOS	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D

de los resultados esperados en este análisis

Ilustración 44 Características de la intersección 1 - evaluación 2

Fuente: Propia

SIGNING SETTINGS	←			→			↖			↗		
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	[dropdown]			↔			↕			↔		
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	448	66	35	288	0	0	0	0
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
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	—	—	—	—	0.33	0.33	0.64	0.64	—	—	—	—
Control Delay (s)	—	—	—	—	0.0	0.0	20.2	20.2	—	—	—	—
Level of Service	—	—	—	—	A	A	C	C	—	—	—	—
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	0.0	0.0	36.6	36.6	—	—	—	—
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	20.2	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	C	—	—	A	—

Ilustración 45 Características de la intersección 2 - evaluación 2

Fuente: Propia

3.3.3. Evaluación 3

En esta evaluación se analiza los aforos 3 y 7 correspondientes a horas pico en la mañana, distribuyéndose de la siguiente manera:



Ilustración 46 Vista en planta de la evaluación 3

Fuente: Propia

Las características que sufren cada intersección por medio de los aforos evaluados son los mostrados en la siguiente imagen.

LANE SETTINGS												
Traffic Volume (vph)	<input type="checkbox"/>	0	0	34	542	0	0	0	0	0	281	76
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 3			Calle 3		
Link Distance (m)	—	94.0	—	—	91.2	—	—	91.7	—	—	83.7	—
Links Speed (km/h)	—	50	—	—	50	—	—	50	—	—	50	—
Set Arterial Name and Speed	— EB			— WB			— NB			— SB		
Travel Time (s)	—	6.8	—	—	6.6	—	—	6.6	—	—	6.0	—
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	—	-1	—	—	2	—	—	6	—	—	-5	—
Area Type CBD	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Storage Length (m)	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0
Storage Lanes (#)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Curb Radius (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Add Lanes (#)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	—	—	—	—	1.000	—	—	—	—	—	0.971	—
Left Turn Factor (prot)	—	—	—	—	0.997	—	—	—	—	—	1.000	—
Saturated Flow Rate (prot)	—	—	—	—	1568	—	—	—	—	—	1410	—
Left Turn Factor (perm)	—	—	—	—	0.997	—	—	—	—	—	1.000	—
Right Ped Bike Factor	—	—	—	—	1.000	—	—	—	—	—	1.000	—
Left Ped Factor	—	—	—	—	1.000	—	—	—	—	—	1.000	—
Saturated Flow Rate (perm)	—	—	—	—	1568	—	—	—	—	—	1410	—
Right Turn on Red?	—	—	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	<input checked="" type="checkbox"/>
Saturated Flow Rate (RTOR)	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	0	—
Link Is Hidden	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
Hide Name in Node Title	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—

Ilustración 47 Características de los carriles del aforo 3 - evaluación 3

LANE SETTINGS												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	511	30	32	193	0	0	0	0
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 1			Calle 1		
Link Distance (m)	89.3			94.0			91.6			82.0		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.4			6.8			6.6			5.9		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			1			4			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	-			-			-			-		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	-			-			-			-		
Add Lanes (#)	-			-			-			-		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	-			0.990			-			-		
Left Turn Factor (prot)	-			1.000			-			-		
Saturated Flow Rate (prot)	-			1579			-			-		
Left Turn Factor (perm)	-			1.000			-			-		
Right Ped Bike Factor	-			1.000			-			-		
Left Ped Factor	-			1.000			-			-		
Saturated Flow Rate (perm)	-			1579			-			-		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	-			0			-			-		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Fuente: Propia

Ilustración 48 Características de los carriles del aforo 7 - evaluación 3

Fuente: Propia

Seguidamente se detallan las características correspondientes al volumen por cada intersección de la evaluación 3.

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)				4						1		
Traffic Volume (vph)	0	0	0	34	542	0	0	0	0	0	281	76
Conflicting Peds. (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	0.94	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.86
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	35	4	0	0	0	0	0	23	3
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	-			-			-			-		
Traffic from mid-block (%)	-			0			-			0		
Link OD Volumes	EB			-			-			-		
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	36	583	0	0	0	0	0	316	88
Traffic in shared lane (%)	-			-			-			-		
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	619	0	0	0	0	0	404	0

Ilustración 49 Características del volumen vehicular del aforo 3 - evaluación 3

Fuente: Propia

VOLUME SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	511	30	32	193	0	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.68	0.62	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	0	5	3	3	22	0	0	0	0
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	WB	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	0	527	44	52	227	0	0	0	0
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	571	0	0	279	0	0	0	0

Ilustración 50 Características del volumen vehicular del aforo 7 - evaluación 3

Fuente: Propia

Para finalizar con la evaluación 3 se procede a presentar los valores de

SIGNING SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	34	542	0	0	0	0	0	281	76
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
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)	—	—	—	4.1	—	—	—	—	—	—	5.2	4.5
Follow Up Time, tF (s)	—	—	—	2.1	—	—	—	—	—	—	3.2	2.6
Volume to Capacity Ratio	—	—	—	0.02	0.02	—	—	—	—	—	0.67	0.67
Control Delay (s)	—	—	—	0.2	0.6	—	—	—	—	—	22.1	22.1
Level of Service	—	—	—	A	A	—	—	—	—	—	C	C
Queue Length 95th (m)	—	—	—	0.5	0.5	—	—	—	—	—	40.2	40.2
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	0.6	—	—	0.0	—	—	22.1	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	A	—	—	C	—

cada intersección.

Ilustración 51 Características de la intersección 1 - evaluación 3

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	511	30	32	193	0	0	0	0
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
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	—	—	—	—	0.34	0.34	0.45	0.45	—	—	—	—
Control Delay (s)	—	—	—	—	0.0	0.0	15.4	15.4	—	—	—	—
Level of Service	—	—	—	—	A	A	C	C	—	—	—	—
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	0.0	0.0	18.6	18.6	—	—	—	—
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	15.4	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	C	—	—	A	—

Ilustración 52 Características de la intersección 2 - evaluación 3
Fuente: Propia

3.3.4. Evaluación 4

En esta evaluación se analizan los 2 últimos aforos, siendo estos



realizados en horas pico de la tarde, obteniendo la capacidad que se muestra en la imagen.

Ilustración 53 Vista en planta de la evaluación 4
Fuente: Propia

Seguidamente se muestran las características presentes en los carriles.

LANE SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Traffic Volume (vph)	0	0	0	96	466	0	0	0	0	0	222	67
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 3			Calle 3		
Link Distance (m)	94.0			91.2			91.7			83.7		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.8			6.6			6.6			6.0		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			2			6			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	-			-			-			-		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	-			-			-			-		
Add Lanes (#)	-			-			-			-		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	-			1.000			-			0.967		
Left Turn Factor (prot)	-			0.991			-			1.000		
Saturated Flow Rate (prot)	-			1541			-			1393		
Left Turn Factor (perm)	-			0.991			-			1.000		
Right Ped Bike Factor	-			1.000			-			1.000		
Left Ped Factor	-			1.000			-			1.000		
Saturated Flow Rate (perm)	-			1541			-			1393		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	-			0			-			0		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Ilustración 54 Características de los carriles del aforo 4 - evaluación 4
Fuente: Propia

LANE SETTINGS												
	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	410	77	41	320	0	0	0	0
Street Name	Avenida Central			Avenida Central			Calle 1			Calle 1		
Link Distance (m)	89.3			94.0			91.6			82.0		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	6.4			6.8			6.6			5.9		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Lane Width (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Grade (%)	-1			1			4			-5		
Area Type CBD	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	-			-			-			-		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	-			-			-			-		
Add Lanes (#)	-			-			-			-		
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	-			0.971			1.000			-		
Left Turn Factor (prot)	-			1.000			0.993			-		
Saturated Flow Rate (prot)	-			1535			1504			-		
Left Turn Factor (perm)	-			1.000			0.993			-		
Right Ped Bike Factor	-			1.000			1.000			-		
Left Ped Factor	-			1.000			1.000			-		
Saturated Flow Rate (perm)	-			1535			1504			-		
Right Turn on Red?	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Saturated Flow Rate (RTOR)	-			0			0			-		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Ilustración 55 Características de los carriles del aforo 8 - evaluación 4
Fuente: Propia

Se procede a mostrar los factores que afectan al volumen de las intersecciones.

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	96	466	0	0	0	0	0	222	67
Conflicting Peds. (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	0.89	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.84
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	25	3
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traffic from mid-block (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Link OD Volumes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	108	491	0	0	0	0	0	247	80
Traffic in shared lane (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	599	0	0	0	0	0	327	0

Ilustración 56 Características del volumen vehicular del aforo 4 - evaluación 4

VOLUME SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	410	77	41	320	0	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.66	0.64	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	0	0	6	5	2	10	0	0	0	0
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parking Maneuvers (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traffic from mid-block (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Link OD Volumes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	0	423	117	64	364	0	0	0	0
Traffic in shared lane (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	540	0	0	428	0	0	0	0

Fuente: Propia

Ilustración 57 Características del volumen vehicular del aforo 8 - evaluación 4

Fuente: Propia

Para concluir se muestran las características de cada intersección, además

SIGNING SETTINGS												
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	96	466	0	0	0	0	0	222	67
Sign Control	Free	Free	Free	Free	Free	Free	Stop	Stop	Stop	Stop	Stop	Stop
Median Width (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TWLT Median	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Right Turn Channelized	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Critical Gap, tC (s)	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	5.2	5.2	5.2	5.2	4.5	4.5
Follow Up Time, tF (s)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	3.2	3.2	3.2	3.2	2.6	2.6
Volume to Capacity Ratio	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Control Delay (s)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
Level of Service	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	C
Queue Length 95th (m)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
Approach Delay (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
Approach LOS	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	C

de los resultados esperados en este análisis

Ilustración 58 Características de la intersección 1 - evaluación 4
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	410	77	41	320	0	0	0	0
Sign Control	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
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	—	—	—	—	0.32	0.32	0.66	0.66	—	—	—	—
Control Delay (s)	—	—	—	—	0.0	0.0	20.7	20.7	—	—	—	—
Level of Service	—	—	—	—	A	A	C	C	—	—	—	—
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	0.0	0.0	39.6	39.6	—	—	—	—
Approach Delay (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	20.7	—	—	0.0	—
Approach LOS	—	—	—	—	—	—	—	C	—	—	A	—

Ilustración 59 Características de la intersección 2 - evaluación 4
Fuente: Propia

3.4. Comparación de metodologías

Al concluir con los análisis de las intersecciones se procede a comparar los valores obtenidos de cada evaluación como se detalla en las siguientes tablas.

Tabla 48 *Análisis de resultados Manual HCM 2010*

Manual HCM 2010								
Descripción	Aforo 1	Aforo 2	Aforo 3	Aforo 4	Aforo 5	Aforo 6	Aforo 7	Aforo 8
Longitud de cola (m)	0,13	0,46	0,08	0,25	1,62	2,05	1,38	2,09
Control de demora (s)	9,67	9,49	9,12	9,07	9,39	9,33	9,17	9,35
LOS	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Propia

Tabla 49 *Análisis de resultados Synchro 8*

Synchro 8								
Descripción	Aforo 1	Aforo 2	Aforo 3	Aforo 4	Aforo 5	Aforo 6	Aforo 7	Aforo 8

Longitud de cola (m)	115,8	57,2	40,2	28,7	24,4	36,6	18,6	39,6
Control de demora (s)	74,3	29,9	22,1	19,4	17,4	20,2	15,4	20,7
LOS	F	D	C	C	C	C	C	C

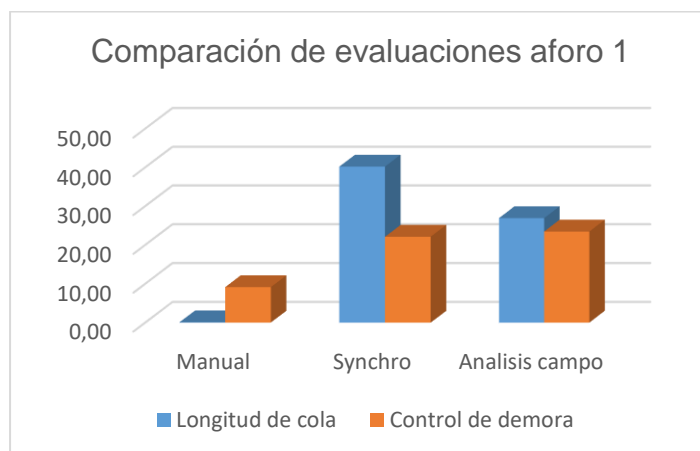
Fuente: Propia

Tabla 50 *Análisis de campo*

Análisis de campo								
Descripción	Aforo 1	Aforo 2	Aforo 3	Aforo 4	Aforo 5	Aforo 6	Aforo 7	Aforo 8
Longitud de cola (m)	36,8	58,95	26,9	42,8	31,18	44,82	21,37	41,2
Control de demora (s)	26,37	75,9	23,44	85,33	35,17	42,7	28,44	41,92
LOS	C	F	C	F	E	E	D	E

Fuente: Propia

Para observar de manera más clara el comportamiento de las intersecciones se procede a graficar cada aforo subdividiéndolo en los métodos utilizados, comparando los valores de control de demora y longitud de cola.

Ilustración 60 *Comparación de evaluaciones aforo 1*

Fuente: Propia

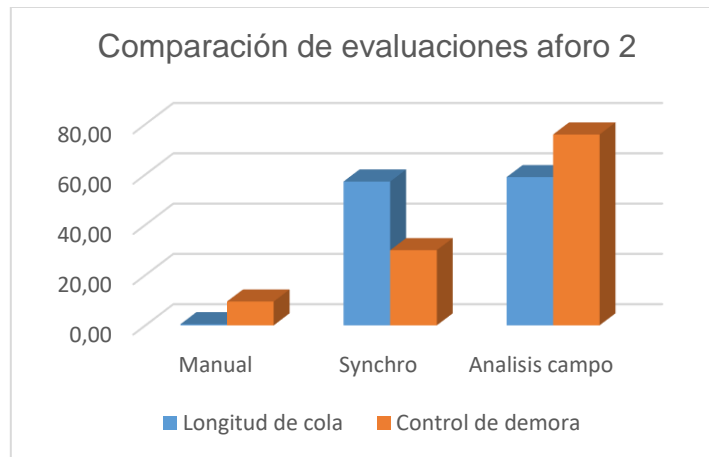


Ilustración 61 Comparación de evaluaciones aforo 2
Fuente: Propia

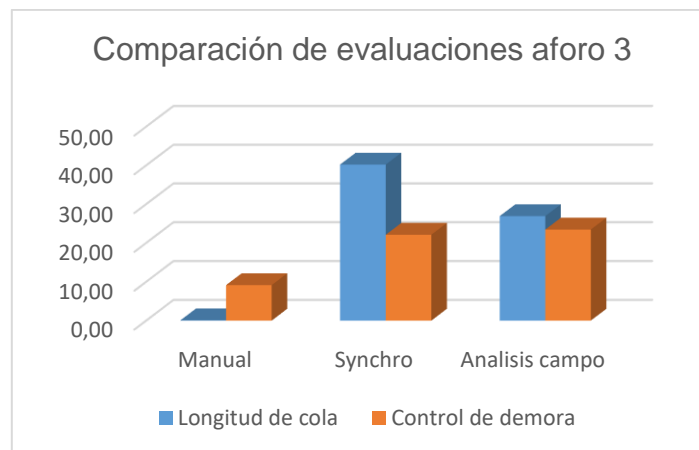


Ilustración 62 Comparación de evaluaciones aforo 3
Fuente: Propia

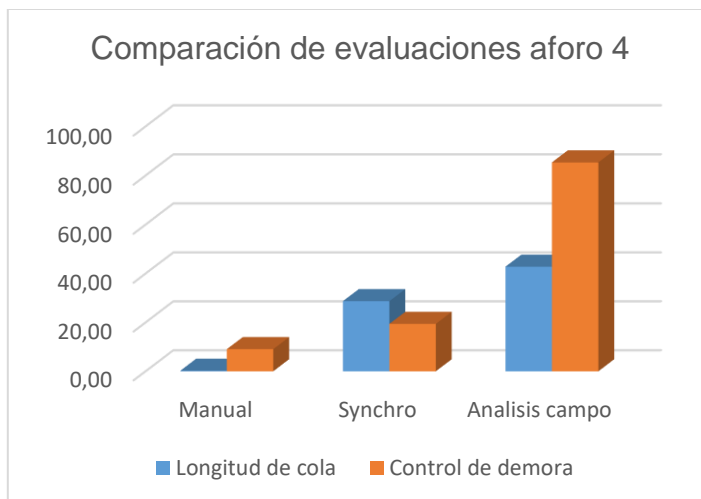


Ilustración 63 Comparación de evaluaciones aforo 4
Fuente: Propia

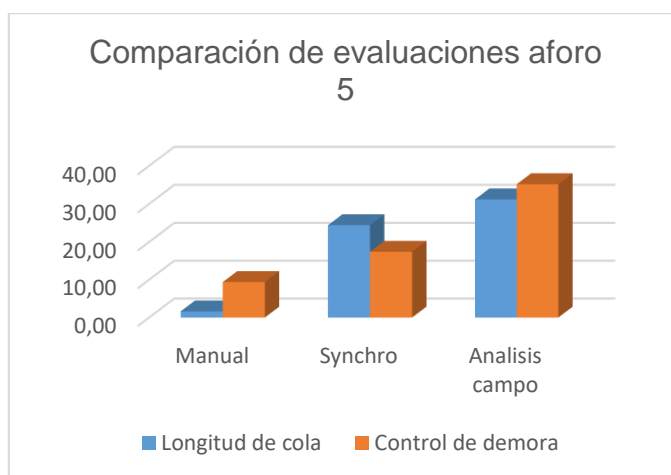


Ilustración 64 Comparación de evaluaciones aforo 5
Fuente: Propia

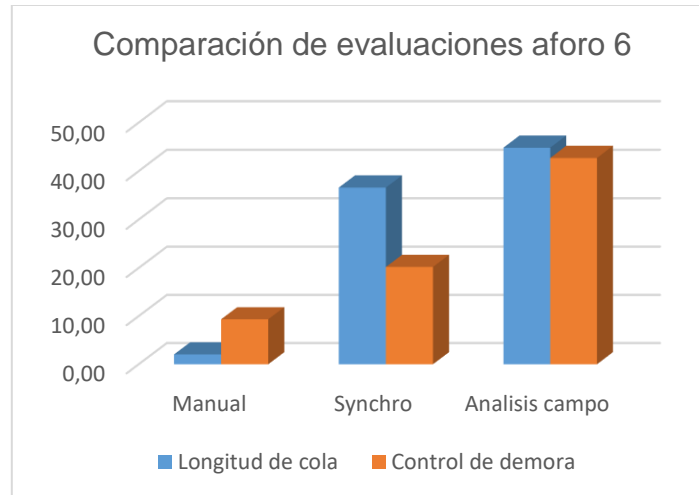


Ilustración 65 Comparación de evaluaciones aforo 6
Fuente: Propia

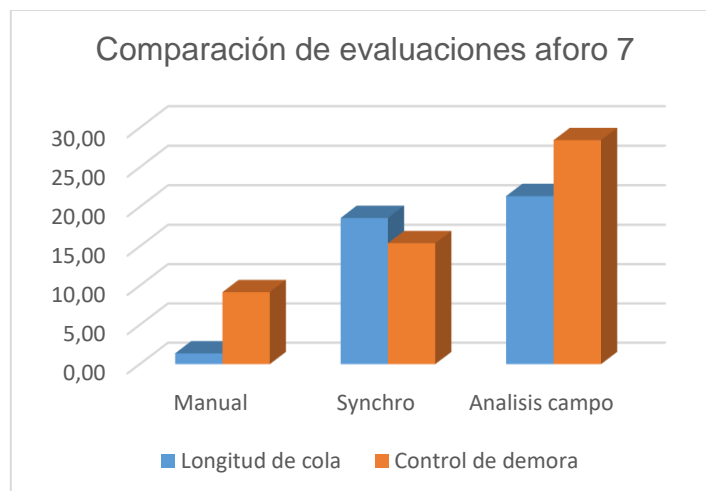


Ilustración 66 Comparación de evaluaciones aforo 7
Fuente: Propia

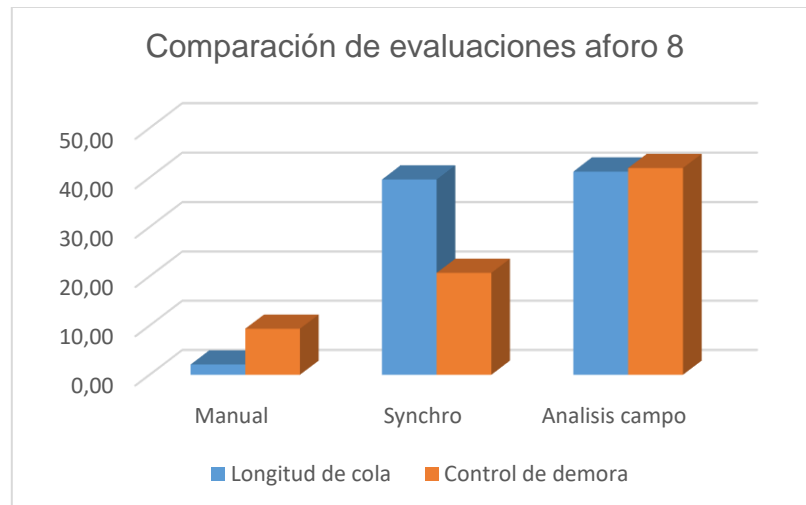


Ilustración 67 Comparación de evaluaciones aforo 8
Fuente: Propia

4. CONCLUSIONES

Se realizó un levantamiento de la gestión vehicular evaluada en dos intersecciones de la Gran Área Metropolitana en Heredia. La primera recae en el nivel de servicio C, por horas de la mañana y para horas de la tarde aumenta a categoría F. Para el caso de la segunda intersección esta se comporta con un nivel de servicio E tanto en horas pico de la mañana como en la tarde. Es importante recalcar que todas las evaluaciones realizadas en horas de la tarde iniciaban con un nivel de servicio F ya que la cantidad de vehículos superaban la capacidad de las carreteras, a lo largo del periodo de análisis dichas intersecciones se fueron descongestionando.

En el caso de la evaluación del SYNCHRO 8, se recopilaron todos los datos necesarios en el campo y se ingresaron al sistema, iniciando con valores del carril, valores del flujo vehicular y datos enfocados en la intersección. Los resultados obtenidos mediante el software recaen en categoría C para la gran mayoría de movimientos provenientes de carreteras secundarias.

La evaluación realizada por medio de los procedimientos descritos en el Manual HCM 2010 es errónea para esta intersección, ya que todos sus movimientos provenientes de la carretera secundaria recaen en categoría A. Esto se debe a que la metodología implantada en este manual se basa en la toma de decisiones de cada conductor dependiendo del movimiento que realice dentro de la intersección, con esto se concluye que al carecer de tantos movimientos en las intersecciones evaluadas, se eleva considerablemente la capacidad de ingreso a la intersección de cada movimiento.

La comparación realizada en este proyecto demuestra que, para un comportamiento similar a las intersecciones analizadas, el programa Synchro 8 se ajusta más a la realidad que los datos obtenidos por medio del manual, pero aun así los resultados no son precisos. Estos datos suelen ser similares para todos los aforos realizados.

5. RECOMENDACIONES

- Promover el uso de transporte público y mejorar este servicio con unidades en perfecto estado y aseadas, además cumplir con los horarios establecidos aumentaría considerablemente la utilización de estos servicios, evitando que se presenten más vehículos en las vías.
- Implementar nuevas planificaciones en el sector de obras públicas para lograr satisfacer las demandas futuras de tránsito.
- Necesariamente se debe de mejorar la educación vial vivida en el país, ya que la mayoría del tiempo irrespetan señales de tránsito o prioridad de movimientos, además de obstaculizar intersecciones al quedarse estacionado en medio de la vía impidiendo el ingreso de otros vehículos a la misma.
- Realizar un análisis de las intersecciones estudiadas basándose en los procedimientos descritos en el capítulo 17, el cual analiza segmentos de carreteras urbanas.
- Analizar nuevamente las intersecciones estudiadas implementando la cantidad de buses que se estacionan en los accesos y añadiendo posibles señales que afecten estas vías.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual*. Washington, E.E.U.U: AASHTO. Obtenido de Vol. I. North Capitol, Washington .
- Amador Z., V. E. (s.f.). El camino de Mulas en Costa Rica y Panamá. *Revista Geográfica De América Central*, 75-94.
- Arandia, J. G. (2006). *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignación de Ingeniería de Tráfico*. Cochabamba-Bolivia: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN.
- Arboleda, D. J. (19 de Marzo de 2015). *Autos SURA*. Obtenido de SURA Blog: <https://www.sura.com/blogs/autos/ventajas-movilizar-se-carro.aspx>
- Arias, C. V. (11 de marzo de 2013). *Blogspot*. Obtenido de cvalenciaarias.blogspot.com/2013/03/teoria-e-historia-ii_11.html
- Blanco, V. Z. (19 de diciembre de 2014). *Vialidad y Transporte*. Obtenido de Historia de las carreteras: <http://vialidadytransporte.com/noticia/10-historia-carreteras>
- Cal, R., & Reyes Spíndola, M. (2007). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico: Alpha & Omega.
- CFIA, C. F. (2006). *INFORME SOBRE EL CONGESTIONAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR EN LA GRAN ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ: recopilación, análisis y posicionamiento*. San José.
- Claudio. (2 de enero de 2015). *George Stephenson y el Ferrocarril Características de las Locomotoras* . Obtenido de Historias y Biografías: <https://historiaybiografias.com/stephenson/>
- Española, R. A. (octubre de 2014). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de Real Academia Española: <http://dle.rae.es/?id=AIVikJp>

- Ferrán González, J. (s.f.). *Topografía de obras*. Obtenido de Monografias: www.monografias.com/trabajos83/topografia-obras/topografia-obras.shtml
- García, E. (30 de septiembre de 2010). *Blogspot*. Obtenido de <http://eduardohg85.blogspot.com/2010/09/historia-de-los-barcos-vela-y-los.html>
- Gómez, R. R. (s.f.). *Grijalvo*. Obtenido de https://www.grijalvo.com/Rebolo_Gomez_Rafael/Armada_Cartaginesa/3_2_Tirreme.htm
- Hernández, J. J. (2014). Los boyeros en el noroccidente del Valle Central de Costa Rica entre los siglos XIX y XX. *Diálogos Revista Electronica de Historia* , 38.
- J. Garber, N., & A. Hoel , L. (2002). *Ingenieria de Transito y Carreteras*. Mexico: Thomson Learning.
- Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V., & del Val, M. A. (2003). *Ingenieria de Carreteras*. España: Mc Graw Hill.
- Krumholtz, M. (16 de diciembre de 2016). *Costa Rica ranks as one of the world's most dangerous countries for drivers*. Obtenido de The Tico Times: <http://www.ticotimes.net/2016/12/16/costa-rica-ranks-one-worlds-dangerous-countries-drivers>
- La Nacion* . (13 de Marzo de 2017). Obtenido de <https://www.nacion.com/opinion/foros/soluciones-para-el-congestionamiento-vial/5Q4LYHQVWRFTRCD6IQDKOJBF2Q/story/>
- Loría Salazar, L. G. (2014). *Implicaciones en infraestructura y transporte*. San Jose: Estado de la Nación. Obtenido de https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/021/ordenamiento/Loria_Infraestructura_y_movilidad.pdf

- Madrigal, C. (17 de febrero de 2016). *La Prensa Libre*. Obtenido de <http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/58484/546/mopt-analiza-como-aliviar-presas-en-heredia>
- Moscoso, M. (Septiembre de 2014). *Natura-medioambiental*. Obtenido de <https://www.natura-medioambiental.com/consumo-de-espacio-que-ocupan-los-automoviles/>
- Palacios Echeverría, A. (29 de junio de 2016). *Problema de las presas*. Obtenido de El País CR: <https://www.elpais.cr/2016/06/29/ayuda-para-entender-el-problema-de-las-presas/>
- Pellegrini, C. (27 de Septiembre de 2012). *Diario Norte*. Obtenido de <http://www.diarionorte.com/article/77093/los-caminos-a-traves-de-la-historia>
- Picado, B. (9 de enero de 2018). *El Nuevo Diario*. Obtenido de Cierre de vías congestiona tráfico en 7 Sur: <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/452107-cierre-vias-congestiona-traffic-7-sur/>
- Rodríguez, R. (30 de diciembre de 2013). *La Republica*. Obtenido de [Larepublica.net](http://larepublica.net): https://www.larepublica.net/noticia/reversibilidad_en_ruta_27_este_1_de_enero
- SLV, M. (19 de Noviembre de 2014). *Word Press*. Obtenido de China Superpoblacion: <https://chinasuperpoblacion.wordpress.com/2014/11/19/de-sobre-poblacion-a-superpoblacion/>
- Solís Rivera, L. G. (2014). *Manual de especificaciones técnicas para realizar el inventario y evaluación de la red vial cantonal*. San José: Imprenta Nacional La Gaceta.
- Thomson, I. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la Cepal* 76, 13.

tiempo, L. m. (16 de enero de 2011). *Blogspot*. Obtenido de <http://lahistoriadelostransportes.blogspot.com/2011/01/el-perfeccionamiento-de-los-medios-de.html>

Topografía en carretera. (s.f.). Obtenido de Nodubitatio: <https://nodubitatio.es.tl/Perfil-Longitudinal.htm>

Transportation Research Board. (2010). *HIGHWAY CAPACITY MANUAL*. Washington: National Academy of Sciences.

Ulate Alvarez , J. (22 de octubre de 2015). *Elementos componentes de una calzada*. Obtenido de Blogspot: <http://jorgeulatea.blogspot.com/2015/>

Ulate Zárata, J. M. (diciembre de 2018). Intervalos críticos y de seguimiento. (S. J. Barrientos Hernández, Entrevistador)

Ulloa, Á., Allen, J., Badilla, G., & Sibaja , D. (27 de Noviembre de 2007). *Lanamme*. Obtenido de Determinación de factores camión en pavimentos de Costa Rica: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/publicaciones/prl-01-08.pdf>

Uribe, D. (14 de Febrero de 2015). *Casa de la Historia*. Obtenido de <http://www.lacasadelahistoria.com/la-ruta-de-la-seda/>