



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN TRANSPORTES

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR
INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS”**

*TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA DEL TRANSPORTE*

ING. DIEGO ESTUARDO CORREA BARAHONA.

AUTOR

Quito – Ecuador

2012



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ingeniería
MAESTRIA EN TRANSPORTES

La presente Tesis de Grado ha sido realizada enteramente por el señor: Ing. Diego Estuardo Correa Barahona, bajo la Dirección del Ing. Juan Pablo Solórzano Azanza y revisada por el Ing. Fredi Augusto Paredes Vásquez, y el Eco. José Iván Herdoíza Lanas, quienes dejan constancia de lo antes indicado.

Ing. Juan Pablo Solórzano Azanza.
DIRECTOR

Ing. Fredi Augusto Paredes Vásquez
REVISOR

Eco. José Iván Herdoíza Lanas
REVISOR



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ingeniería
MAESTRIA EN TRANSPORTES

TÍTULO:

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS”

AUTOR:

ING. DIEGO ESTUARDO CORREA BARAHONA.

Este documento certifica que el presente trabajo es de mi autoría y no de otra persona, a menos que explícitamente sea reconocida (incluyendo citas de fuentes publicadas y no publicadas). El trabajo no ha sido presentado en forma alguna en otra institución para la evaluación de cualquier propósito.

Quito, Junio de 2012



Diego Estuardo Correa Barahona.

C.I. 030169530-0



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, **DIEGO ESTUARDO CORREA BARAHONA**, C.I. **030169530-0**, autor del trabajo de graduación titulado: ***“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS”***, previa a la obtención del grado académico de **MAGISTER EN INGENIERIA DEL TRANSPORTE**, en la Facultad de **Ingeniería**:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, Junio de 2012

Diego Estuardo Correa Barahona.

C.I. 030169530-0

DEDICATORIA.

Dedico esta tesis a las personas más importantes en mi vida, a mi esposa Taty y a mis hijos: María Paz y Diego Alejandro, por quererme y apoyarme siempre. A mis padres: Jaime y Magdalena, que me dieron la vida y me han convertido en lo que ahora soy. A mis hermanas: Cecy, Aly y Sole, y a mi sobrina Tamya. Las cuales me han brindado su apoyo constante e incondicional y es solo gracias a ellos que estoy alcanzando mis sueños y metas. Nuevamente gracias por todo.

Diego E. Correa Barahona.

AGRADECIMIENTO.

Luego de haber concluido esta investigación, expreso mi agradecimiento a todas las personas que me ayudaron en el desarrollo de la misma. De manera muy especial a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por brindarme la oportunidad de incrementar mis conocimientos y formarme como un mejor ser humano gracias por su ayuda y hacer posible el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco de manera especial al tutor de la misma, el Ingeniero Juan Pablo Solórzano, quien fue la persona esencial en la orientación para la realización de esta tesis. A todo el personal del Programa de Maestría en Transportes de la PUCE que me brindaron su apoyo.

A mis compañeros, con quienes hemos llegado a ser buenos amigos, de manera especial a Jaime y Marcos.

A mis padres, hermanos, familia y amigos gracias por apoyarme siempre.

Están en mi corazón

CONTADOR DE PALABRAS.

Número de páginas: 192

Número de palabras: 29888.

RESUMEN.

Se investiga los métodos que existen para evaluar intersecciones semafóricas, a partir de la ingeniería de tránsito o ingeniería del transporte y a partir de ellos se desarrolla una nueva PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS, basada en estudios similares, tomando en consideración la importancia del levantamiento de información y toma de datos de campo; como también del análisis de cada uno de los factores que intervienen en el análisis y evaluación de intersecciones.

Se detallan secuencialmente los pasos a seguirse, desde la toma de datos, criterios de procesamiento, y la manera sistemática de ir utilizando, calculando y obteniendo resultados.

Se obtienen, calibran y validan datos mediante la utilización del software SIDRA INTERSECTION 5.1, tanto en la situación actual, como en un periodo de cinco años. Se evalúa su desempeño futuro mediante proyecciones estadísticas y se generan escenarios usando los parámetros de tráfico. Luego se procesan los datos mediante la herramienta SIDRA INTERSECTION 5.1 y se analiza la variación en la respuesta obtenida en un escenario futuro vs., un escenario 0 o estado actual.

Palabras clave: intersecciones semafóricas, dispositivos de control, semáforos, SIDRA INTERSECTION 5.1, HCM 2000, TRRL, MUTCD, la ingeniería de transporte, escenarios, Ave. San Antonio y Panamericana, Cañar (Ecuador).

ABSTRACT.

Investigates the methods available to assess traffic light intersections, based on traffic engineering or transportation engineering, and from them develop a new methodological proposal to evaluate Intersections traffic light, based on similar studies, taking into consideration the importance of lifting information and field data collection, as well as the analysis of each of the factors involved in the analysis and evaluation of intersections.

It details the steps to be followed sequentially, from data collection, processing criteria, and systematic way to go using, calculating and getting results.

Are obtained, calibrate and validate data using SIDRA INTERSECTION 5.1 software, both the current situation, as in a period of five years. Future performance is evaluated by statistical projections and scenarios are generated using the traffic parameters. Data are then processed by the tool SIDRA INTERSECTION 5.1 and analyze the variation in the response vs. a future scenario, a stage 0 or current status.

Keywords: traffic light intersections, control devices, traffic lights, SIDRA INTERSECTION 5.1, HCM 2000, TRRL, MUTCD, transportation engineering, scenarios, and Pan American Ave San Antonio, Cañar (Ecuador).

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.2 ANTECEDENTES.....	20
1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES.....	21
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
CAPÍTULO II	23
2. MARCO TEORICO SOBRE INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS.....	23
2.1 LA INGENIERÍA DE TRÁFICO O INGENIERÍA DE TRANSPORTE:.....	23
2.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL.....	24
2.2.1 Definición.....	24
2.2.2 Clasificación.....	24
2.3 SEMÁFOROS.....	26
2.3.1 Historia.....	26
2.3.2 Tipos de semáforos.....	27
2.3.3 Descripción de Colores.....	29
2.3.4 Objetivos.....	31

2.3.5	Ventajas	31
2.3.6	Desventajas.....	33
2.3.7	Alternativas.....	33
2.3.8	Numero de lentes y de caras	35
2.4	REQUISITOS PARA INSTALAR UN SEMÁFORO.	36
2.4.1	Justificación.....	36
2.4.2	Requisitos (MUTCD).....	37
2.5	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS OPERACIONAL DE INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS.	46
2.5.1	Características Generales.	46
2.5.2	Términos básicos.....	48
2.5.3	Esquema de la Metodología para el Análisis de Intersecciones Semafóricas.....	55
2.5.4	Parámetros de Entrada y Condiciones Iniciales.	56
2.5.5	Agrupación de Carriles y Análisis de Volúmenes de Demanda.	63
2.5.6	Análisis del Flujo de Saturación.....	77
2.5.7	Análisis de Capacidad	89
2.5.8	Peatones	103
2.5.9	Resultados y Medidas de Efectividad.....	109
CAPÍTULO III		128

3.	METODOS Y MATERIALES.....	128
3.1	METODOS.....	128
3.1.1	Programas Computacionales:	128
3.2	MATERIALES.....	145
3.2.1	Caso Práctico de Aplicación en la ciudad de Cañar	145
3.2.2	INTERSECCIÓN: PANAMERICANA – AV. SAN ANTONIO	150
	CAPÍTULO IV	161
4.	RESULTADOS.....	161
4.1	ANALISIS DE LA INTERSECCIÓN CON EL SOFTWARE SIDRA INTRERSECTION 5.1.....	161
4.1.1	Anchos de Carriles.....	161
4.1.2	Plano de la intersección.....	162
4.1.3	Ciclo actual del semáforo.....	163
4.1.4	Formato de conteo vehicular clasificado.	164
4.1.5	Diagrama de la Intersección. Flujo vehicular actual.....	165
4.1.6	Determinación del grupo de carriles	166
4.1.7	Porcentaje de Vehículos (%)	167
4.1.8	Determinación del Nivel de servicio por carril y la demora de la Intersección utilizando el Flujo vehicular actual.....	168

4.1.9	Determinación del Nivel de servicio por carril y la demora de la Intersección utilizando el Flujo vehicular actual proyectado al año 2016. (Intersección con condiciones actuales)	169
4.1.10	Determinación del Nivel de servicio por carril y la demora de la Intersección utilizando el Flujo vehicular actual proyectado al año 2016. (Intersección con giro izquierdo protegido - viraje adelantado).....	171
4.1.11	Anexo: análisis con el software SIDRA INTERSECTION 5.1, situación actual.	173
4.1.12	Anexo: análisis con el software SIDRA INTERSECTION 5.1, situación actual, flujo proyectado a 5 años.....	176
4.1.13	Anexo: análisis con el software SIDRA INTERSECTION 5.1, flujo proyectado a 5 años, giro izquierdo protegido	181
CAPÍTULO V		187
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	187
5.1	CONCLUSIONES	187
5.2	Recomendaciones	191
5.1	BIBLIOGRAFÍA	192

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No. 1: Condición A, Volumen Vehicular Mínimo.....	38
TABLA No. 2: Condición B Interrupción del Tránsito Continuo.	39
TABLA No. 3: Factores de Ajuste a la Tasa de Flujo de Saturación.	88
TABLA No. 4: Factor de Ajuste de Progresión para Cálculo de Demora Uniforme.	113
TABLA No. 5: Niveles de servicio en intersecciones con semáforos.	121
TABLA No. 6: Valores recomendados para grupos de carriles.	126
TABLA 7: Habitantes de Cañar.	146
TABLA 8: Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cañar.	149
TABLA 9: Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cañar. FUENTE: Hospital Luis F. Martínez A.	150
TABLA No. 10: Programación de Conteos Vehiculares.	153
TABLA No. 11: Ancho de los Carriles.	161
TABLA No. 12: Porcentaje de Buses que Paran en la Intersección.....	167
TABLA No. 13: Nivel de Servicio por Carril y de la Intersección Año 2011.....	169
TABLA No. 14: La Demora Promedio Año 2011.....	169
TABLA No. 15: Nivel de Servicio por Carril y de la Intersección Año 2016.....	170
TABLA No. 16: La Demora Promedio Año 2016.....	170
TABLA No. 17: Nivel de Servicio por Carril y de la Intersección Año 2016.....	172
TABLA No. 18: La Demora Promedio Año 2016. FUENTE: El Autor.	172

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN No. 1: Semáforo.	29
ILUSTRACIÓN No. 2: Hoja de flujo de saturación en campo.....	81
ILUSTRACIÓN No. 3: Hoja de flujo de saturación en campo.....	82
ILUSTRACIÓN No. 4: Imagen del software Sidra Intersection 5.1.....	130
ILUSTRACIÓN No. 5: Intersección SIDRA.	133
ILUSTRACIÓN 6: Mapa de la Provincia de Cañar.....	145
ILUSTRACIÓN 7: Población del cantón según residencia. (% de la población total) ..	147
ILUSTRACIÓN 8: Mapa De Rutas. FUENTE: El Autor.....	148
ILUSTRACIÓN No. 9: Intersección Panamericana y Av. San Antonio.....	150
ILUSTRACIÓN No. 10: Avenida San Antonio – Cañar. FUENTE: El Autor.	154
ILUSTRACIÓN No. 11: Imágenes de la Av. San Antonio. FUENTE: El Autor.	155
ILUSTRACIÓN No. 12: Fotos de la Calle Panamericana. FUENTE: El Autor.	156
ILUSTRACIÓN No. 13: Señalización horizontal - Av. San Antonio Y Panamericana. FUENTE: El Autor.	157
ILUSTRACIÓN No. 14: Señalización Vertical- Av. San Antonio Y Panamericana.	158
ILUSTRACIÓN No. 15: Señalización Vertical y Horizontal de la Calle Panamericana. FUENTE: El Autor.....	159
ILUSTRACIÓN No. 16: Estacionamientos de la Intersección. FUENTE: El Autor.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA No. 1: Condición A, Volumen Mínimo en 4 Horas.....	41
FIGURA No. 2: Hora Pico.....	42
FIGURA No. 3: Flujo de Saturación.	49
FIGURA No. 4: Esquema de metodología para el análisis de intersecciones semafóricas.....	55
FIGURA No. 5: Composición de Tráfico.....	58
FIGURA No. 6: Esquema de un Semáforo con Dos Fases.....	63
FIGURA No. 7: Esquema de un Semáforo con Tres Fases.....	64
FIGURA No. 8: Combinaciones Típicas de Fases.....	66
FIGURA No. 9: Combinaciones típicas para realizar análisis de grupos de carriles.	70
FIGURA No. 10: Factor de hora de máxima demanda, referidos a períodos de 15 minutos.....	76
FIGURA No. 11: Cálculo del Tiempo de Ciclo Óptimo.....	92
FIGURA No. 12: Esquema de Viraje Adelantado.....	95
FIGURA No. 13: Esquema de Viraje Retrasado.....	95
FIGURA No. 14: Carriles Cortos.....	96
FIGURA No. 15: Bloqueo de Carriles.....	97
FIGURA No. 16: Bloqueo por giros permitidos compartidos.....	97
FIGURA No. 17: Diagrama final de fases de un semáforo.....	102

FIGURA No. 18: Secuencia de fases vehiculares y peatonales.....	105
FIGURA No. 19: Secuencia de fases Cruce escalonado.	106
FIGURA No. 20: Ubicación de las estaciones de conteo.	152
FIGURA No. 21: Ancho de los Carriles. FUENTE: El Autor.	162
FIGURA No. 22: Plano de la Intersección. FUENTE: El Autor.	162
FIGURA No. 23: Ciclo Actual del Semáforo.....	163
FIGURA No. 24: Formato de Conteo Vehicular Clasificado. FUENTE: El Autor.	164
FIGURA No. 25: Diagrama de la Intersección. Flujo Vehicular Actual. FUENTE: El Autor.....	165
FIGURA No. 26: Diagrama de la Intersección. Flujo Vehicular Actual. FUENTE: El Autor.....	166

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

Durante el transcurso del tiempo y en especial en los últimos años, las ciudades ecuatorianas, vienen experimentando grandes cambios en su composición. Entre los cambios más sobresalientes se encuentran el incremento del parque automotor, lo cual conlleva a que la movilidad en las ciudades se vea seriamente deteriorada.

La expansión urbana, también conocida como la expansión suburbana, incluye la propagación de una ciudad y sus suburbios hacia sus alrededores. Varias características de diseño han fomentado la movilidad de las personas, las mismas que durante los últimos años se han inclinado hacia el uso excesivo del automóvil, convirtiéndose en el medio de transporte más empleado, pero al mismo tiempo mal utilizado, todo lo cual conlleva a la congestión de tráfico y producción de grandes cantidades de contaminantes, todo esto sumado al incremento del ruido y los accidentes de tráfico demuestran su ineficiencia.

Los problemas de transporte que enfrentan las ciudades pueden ser analizados de mejor manera dentro de una visión global del transporte urbano en Latinoamérica. Las deficiencias del transporte que son comunes en numerosas ciudades de Latinoamérica han sido atribuidas parcialmente a la falta de regulación.

La insuficiencia de Políticas en materia de transporte, sumadas a la aplicación inadecuada de las ordenanzas municipales en la mayoría de ciudades, han provocado que los diferentes tipos de transporte, se regulen por sí mismos, caotizando las intersecciones de la ciudad, especialmente en horas de mayor demanda.

Si bien la tasa de crecimiento poblacional en muchas ciudades de ha disminuido en cierta manera en comparación con las décadas anteriores, aún es alta, y la concentración de la población en áreas urbanas continúa sin disminuir.

Este fenómeno ha aumentado la distancia de los viajes urbanos, disminuyendo la calidad de vida en general, a menos que se implementen políticas efectivas de regulación de los componentes de cada uno de los elementos que forman parte de la transportación urbana.

Actualmente se pretende comenzar a dirigir estos problemas mediante la canalización de una buena planificación del transporte a nivel local, racionalizando los sistemas de transporte existente, e integrando el manejo del uso del suelo con un transporte público viable.

Uno de los componentes prioritarios constituye el estudio de las principales intersecciones de las ciudades, siendo de gran importancia contar con una metodología que permita realizar el diagnóstico y la evaluación intersecciones semafóricas; y que ésta se convierta en una herramienta que pueda ser utilizada por profesionales e instituciones involucradas en este tema.

1.2 ANTECEDENTES

La movilidad en las ciudades, se deteriora cada día, debido principalmente al incremento del parque automotor y al crecimiento de la población urbana ya sea por trabajo, estudio o por comercializar sus productos, los mismos que para realizar sus actividades utilizan principalmente en coche.

Todo lo anteriormente descrito, se refleja en que las personas deban ocupar gran parte de su tiempo productivo, en movilización desde sus lugares de residencia hasta sus sitios de trabajo o estudio. Siendo una de las principales razones de retraso, el transitar por varias intersecciones, que se encuentran saturadas, razón por la cual se ve la necesidad de implementar en ellas nuevos, modernos y eficientes sistemas de semáforos.

La mayor parte de ciudades, en la actualidad utiliza equipos semafóricos con sistemas de control obsoletos que no permiten implementar planes semafóricos o semáforos normalizados. En los pocos que se encuentran en uso es difícil y costoso mantenerlos operativos, todo esto sumado a la presencia de anomalías de estos mecanismos, las cuales no son detectadas oportunamente, provocan alteraciones en la regulación de tránsito lo que se traduce en demoras de los vehículos en cada una de las intersecciones. A todo lo anteriormente expuesto se suma la falta de conciencia sobre la importancia de contar con un inventario de la capacidad vial disponible en cada una de las intersecciones, muchas veces severamente limitada por una deficiente programación de semáforos y por el uso inadecuado de las mismas.

1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES

El proyecto investigativo es de tipo exploratorio, descriptivo e inferencial. Analiza la existencia de los distintos componentes que intervienen y afectan a las intersecciones semaforicas en ciudades pequeñas, considera además la existencia de las distintas variables que se entrelazan dentro de cada una de las intersecciones.

La presente tesis considera los factores incidentes en la capacidad vial, los niveles de servicio, los tiempos de programación de los semáforos y las demoras en cada una de las intersecciones.

Este trabajo culminará con la presentación de un documento, en el cual conste una propuesta metodológica de estudio de intersecciones semaforicas. Además de se realizará un estudio de caso, el mismo que se desarrollará en la ciudad y provincia del Cañar.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es proponer una metodología que permita evaluar intersecciones semaforicas.

La búsqueda del objetivo general lleva consigo la determinación de varios objetivos específicos como los que se mencionan a continuación.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Profundizar el conocimiento sobre intersecciones semaforicas a través de revisión e investigación, otras metodologías y casos de aplicación.
2. Revisar la formulación correspondiente para determinar giros, nivel de servicio, demoras, saturación, etc.
3. Establecimiento de la metodología de evaluación de intersecciones semaforicas, adecuada a ciudades pequeñas.
4. Aplicación de la metodología a un caso particular.

Todos los estudios desarrollados se constituirán además en pautas para abrir el camino hacia futuras investigaciones sobre el conocimiento y el comportamiento de las intersecciones, a la vez que abrirá el camino a nuevos desarrollos en el área.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO SOBRE INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS

2.1 LA INGENIERÍA DE TRÁFICO O INGENIERÍA DE TRANSPORTE:

Es la rama de la ingeniería civil que trata sobre la planificación, diseño y operación de tráfico en vías, carreteras y autopistas, sus redes, infraestructuras, tierras colindantes y su relación con los diferentes medios de transporte, consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente tanto de personas como de bienes.

Se entiende por ingeniería de transportes y vías, el conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas, prácticas profesionales, principios y valores, necesarios para satisfacer las necesidades sociales sobre movilidad de personas y bienes.

El ingeniero de tráfico en vez de construir nueva infraestructura, introduce elementos dinámicos o estáticos (Señales de tráfico, semáforos, paneles, sensores, etc.) para regular y dirigir el tráfico, maximizando la capacidad de la vía especialmente en lugares congestionados.

2.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

2.2.1 Definición.

Se denominan dispositivos de control del tránsito, a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios, las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de las calles o carreteras.

2.2.2 Clasificación

Los dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras se clasifican en:

2.2.2.1 Señales:

Las señales de tránsito o señales de tráfico son los signos usados en la vía pública para impartir la información necesaria a los usuarios que transitan por un camino o carretera, en especial los conductores de vehículos y peatones. Se clasifican en:

2.2.2.1.1 Preventivas: Las señales preventivas, llamadas también de advertencia de peligro, tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia de riesgos y/o situaciones imprevistas en la vía, de carácter permanente o temporal e indicarles su naturaleza.

2.2.2.1.2 *Restringidas:* Las Señales Restringidas tienen por finalidad notificar a los usuarios de la vía sobre prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones que gobiernen el uso de ella y cuya transgresión constituye una infracción.

2.2.2.1.3 *Informativas:* Las señales informativas tienen como propósito ayudar a los conductores en su desplazamiento por la vía que les permita llegar a su destino de la manera más simple y directa posible.

2.2.2.2 **Marcas:**

Las marcas son las rayas, los símbolos y las letras que se pintan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro de o adyacentes a las vías de circulación, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito e indicar la presencia de obstáculos.

2.2.2.3 **Dispositivos para protección en obras**

Los dispositivos para protección en obras son las señales y otros medios que usan para proporcionar seguridad a los usuarios, peatones y trabajadores y guiar al tránsito a través de calles, carreteras en construcción o conservación; tienen carácter transitorio.

2.3 SEMÁFOROS

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

La palabra "semáforo" es de origen griego: σήμα = señal, y foro = llevar, es decir, semáforo significa que lleva las señales.

2.3.1 Historia

- El primero fue colocado frente al Parlamento del Reino Unido, en Westminster, en 1868 operado a gas (explotó un año después).
- Primer semáforo eléctrico El 4 de agosto de 1914 se instaló el primer semáforo "moderno", en Cleveland, Estados Unidos.
- Los primeros semáforos de tres luces aparecieron en 1920 en las calles de Detroit, Estados Unidos.
- 1930's semáforos con respuesta a los vehículos, llamados activados–accionados (actuated).
- 1970 Se desarrollaron los sistemas control de tráfico urbano.
- En la actualidad hablamos de semáforos inteligentes. Los semáforos han ido evolucionando con el paso del tiempo y debido a su rentabilidad, se están utilizando lámparas a LED (Diodos Emisores de Luz) para la señalización luminosa, puesto que las lámparas de LED utilizan sólo 10% de la energía consumida por las lámparas incandescentes utilizadas anteriormente.

De estos primeros semáforos, ahora piezas de museos, se ha llegado en la actualidad al uso de verdaderos cerebros electrónicos. A medida que pasa el tiempo, el congestionamiento y los accidentes aumentan, por lo que para su atenuación, el uso de semáforos ha alcanzado un notable desarrollo. Esto ha permitido establecer estrategias para el control del tránsito a lo largo de las diferentes horas del día a través de programas específicos para periodos de máxima y mínima demanda.

La semaforización es una herramienta de la gestión de tránsito que permite eliminar los conflictos entre corrientes vehiculares en una intersección, separándolos temporalmente. Como tal, es una medida que consiste en dar derecho a vía a cada corriente conflictiva en forma alternada y en proporción acorde con su demanda de tráfico.

2.3.2 Tipos de semáforos

Los tipos de dispositivos para realizar esta acción de gestión pueden ser clasificados de la siguiente manera:

2.3.2.1 *Tiempo fijo:*

Los semáforos de tiempo fijo son aquellos en los cuales las fases cambian según programa fijo, se utilizan en intersecciones donde los patrones de tránsito son relativamente estables. Los controles de tiempo fijo, se adaptan especialmente a intersecciones en las que se desea sincronizar el funcionamiento de los semáforos con los de otras instalaciones próximas.

El control de tiempo fijo sin mecanismo de sincronización es aconsejable para intersecciones aisladas y de poca importancia, de las que no se prevé necesidad de coordinar con otras.

Existe un sistema de control de tiempo fijo con mecanismo de sincronización, accionado por un motor, que se usa para intersecciones aisladas cuando se prevea la necesidad de coordinar éstas con otros semáforos, o que el semáforo sea supervisado por un control maestro.

2.3.2.2 **Activados:**

Son aquellos en los que la duración de la fase y el orden dependen del tráfico (detección).

La característica principal de la operación de semáforos accionados por el tránsito, es que la duración de los ciclos responde en general, a las variaciones en la demanda de circulación vehicular.

2.3.2.3 **Coordinados:**

Son semáforos que están conectados a un control central y forman parte de una red de interconexión.

Se distingue un tercer tipo de control cuando las indicaciones en los controles de cierta zona varían de acuerdo con información recibida sobre fluctuaciones del tránsito, los mismos que se encuentran conectados a una estación central.

Además puede haber casos de **Combinación** de los tipos anteriores.

2.3.3 Descripción de Colores

Los colores de los semáforos deberán ser como se ilustra a continuación:

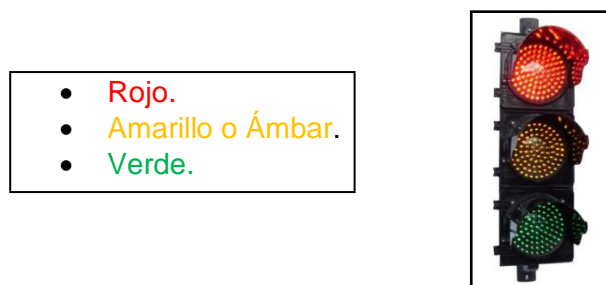


ILUSTRACIÓN No. 1: Semáforo.

FUENTE: El Autor.

2.3.3.1 Verde fijo.

Los conductores de los vehículos podrán seguir de frente, o dar vuelta a la derecha o a la izquierda, a menos que una señal prohíba dichas vueltas. Los peatones que avancen hacia el semáforo podrán cruzar, a menos que algún otro semáforo les indique lo contrario.

2.3.3.2 Amarillo fijo.

Advierte a los conductores de los vehículos que están a punto de aparecer la luz roja y que el flujo vehicular que regula la luz verde debe detenerse. De la misma manera avisa a los peatones que no disponen del tiempo suficiente para cruzar, excepto cuando exista algún semáforo indicándoles que pueden realizar el cruce. Sirve para despejar el tránsito en una intersección y para evitar frenadas bruscas.

2.3.3.3 **Rojo fijo:**

Los conductores de los vehículos se detendrán antes de la línea de parada. Los peatones no cruzaran la vía, a menos que algún semáforo les de la indicación de paso.

2.3.3.4 **Verde intermitente.**

Cuando una lente verde funciones con destellos intermitentes, advierte a los conductores el final del tiempo de luz verde.

2.3.3.5 **Amarillo intermitente**

Cuando se ilumine una lente amarilla con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos realizaran el cruce con precaución. Se empleará en la vía que tenga preferencia.

2.3.3.6 **Rojo intermitente.**

Cuando se ilumine una lente roja con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos harán alto obligatorio y se detendrán antes de la línea de parada. Se emplearan en el acceso a una vía principal.

Las flechas direccionales deberán apuntar hacia el sentido de la circulación. La flecha vertical apuntando hacia arriba, indica circulación de frente. La flecha horizontal indica vuelta aproximadamente en ángulo recto hacia la izquierda o derecha. La flecha oblicua, a 45° apuntando hacia arriba, indica vueltas a calles que forman ángulos distintos de 90°.

2.3.4 Objetivos

El objetivo de un semáforo es básicamente proveer una asignación ordenada del derecho de circulación, como se realiza esta asignación, es básicamente separando los flujos en el tiempo, especialmente en los flujos conflictivos, por lo tanto lo que hace un semáforo es detener un flujo y dar prioridad a otro.

Otro de los objetivos es proveer mayor seguridad, cuando tengo intersecciones tipo prioridad o ceda el paso que presentan grandes cantidades de accidentes. Los semáforos no son una panacea para todos los problemas de tráfico en intersecciones, se debe analizar técnicamente a fin de encontrar la solución más apropiada.

2.3.5 Ventajas

Si la instalación operación de los semáforos es correcta, estos podrán aportar diversas ventajas. Un semáforo o un sistema de semáforos, que opere correctamente, podrá proveer un movimiento ordenado del tráfico en los carriles. Puede incrementar la capacidad de una intersección si se cumplen ciertas condiciones como son:

1. Si se utilizan configuraciones físicas apropiadas como es un diseño geométrico adecuado.
2. Actualizar el sistema de manera regular, que es una de las más deficientes en nuestro país. Una vez que se programa un semáforo, se deben hacer verificaciones, ya que en un año el tráfico puede cambiar, las condiciones pueden cambiar, debido a varios factores como por ejemplo: la creación de un centro comercial, o la aparición de un colegio, escuela, etc. Y si se mantendría

la configuración inicial, el semáforo no estaría siendo utilizado adecuadamente. Por lo tanto todos los años se debería realizar conteos y reprogramar los semáforos si fuese necesario.

3. Si se utilizan diferentes programaciones de acuerdo al tráfico, especialmente si se colocan semáforos modernos que permitan tener diferentes programaciones con diferentes planes de acuerdo a la hora del día. Un semáforo debe estar programado para el tráfico promedio que hay durante las diferentes horas, Un correcto plan de semáforos, sería el que tenga un plan para la hora pico de la mañana, del medio día y de la tarde; un plan de fin de semana, un plan de feriado; donde los patrones de tráfico en la intersección son distintos.
4. Reduce la intensidad y gravedad de cierto tipo de accidentes, especialmente comparando con intersecciones a prioridad. Donde una persona que circula en un vehículo por la vía principal no está pendiente de que otro vehículo ingrese a la intersección, y por este motivo se producen choques laterales, que son los más severos.
5. Otra ventaja es que los semáforos pueden ser coordinados, dentro de un corredor. Se pueden coordinar una serie de semáforos, de tal manera que los vehículos tengan un movimiento continuo. Permitiendo optimizar el movimiento global de la zona, e inclusive de áreas, de tal manera que la demora total sea mínima.
6. Los semáforos pueden ser utilizados para interrumpir flujos muy elevados, para permitir el paso de vehículos y personas, especialmente en pasos peatonales en vías con grandes volúmenes de tráfico, donde se vuelve dificultoso el cruce de la vía porque no existen brechas adecuadas para cruzar.

2.3.6 Desventajas

Cuando las instalaciones no son apropiadas o justificadas se presentan una serie de desventajas:

1. Demoras excesivas: Cuando los semáforos se encuentran mal programados, de acuerdo a las diferentes horas del día, se tienen demoras que no deberían existir. especialmente tratándose de volúmenes de tránsito pequeños.
2. Irrespeto a las señales: Cuando existen demoras excesivas, produciendo consecuencia negativa, ya que se convierte en intersección de prioridad.
3. Uso de rutas menos adecuadas: Se produce cuando una vía contiene semáforos programados en una forma no técnica, los mismo que producen demoras, llegando a ocupar vías residenciales con el objetivo de evitar los semáforos.
4. Incremento en accidentes de tipo alcance: Especialmente cuándo las velocidades de operación son muy altas, lo que produce choques por la parte por detrás.
5. Irritación en los conductores: Cuando se incrementan las demoras debido a que los semáforos están mal programados.
6. Se incurre en gastos no justificados para soluciones que podían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.

2.3.7 Alternativas

Existen varias alternativas que deben ser analizadas antes de instalar un semáforo, es decir se deben analizar otras alternativas posibles:

1. Instalación de señales en la vía principal advertencia antes de la intersección: se podrían instalar varias señales preventivas de advertencia, tanto visuales como sonoras (resonadores en la vía), para que el conductor se de cuenta que se aproxima a una intersección.
2. Mejorar la distancia de visibilidad: si existen la presencia de obstáculos o vehículos, se debe mejorar la visibilidad, para que los conductores puedan aprovechar de mejor manera las brechas disponibles, para poder incrementar la capacidad.
3. Medidas para reducir la velocidad: si se reduce la velocidad, se logra una disminución considerable en el número de accidentes
4. Luces de advertencia adicionales al PARE: cuando esta señal no esta siendo respetada, se debe colocar una luminaria sobre la señal para que los conductores estén atentos.
5. Adicionar uno o más carriles en aproximación secundaria: si es una intersección tipo prioridad, el incrementar un carril en la entrada me puede duplicar la capacidad, y con esto se puede solucionar el problema, y no sea necesario instalar un semáforo.
6. Canalizar los giros: para permitir que los vehículos tengan refugios, puedan hacer giros directos y de esta manera no interrumpen el tráfico (islas fantasmas, islas físicas) incrementando la capacidad y sobre todo la seguridad, que probablemente sea una solución adecuada.
7. Instalar iluminación: ayuda notablemente a mejorar la distancia de visibilidad.

8. Restringir uno o más movimientos según la hora del día: en una o más horas del día en donde los giros izquierdos son un problema, simplemente se pueden restringir.
9. Construir un redondel: puede ser una gran alternativa espacialmente es zonas suburbanas o rurales.
10. Otras alternativas: desplazar la intersección hacia otro sitio puede ser una solución.

Debemos analizar todas las opciones y no necesariamente afirmar que la instalación de un semáforo va a solucionar todos los problemas en la intersección.

2.3.8 Numero de lentes y de caras

La lente es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara, y de su reflector en la dirección deseada. Se recomienda que la cara de todo semáforo tenga cuando menos tres lentes: rojo, ámbar y verde; y cuando más, cinco lentes: rojo, ámbar, flecha de frente, flecha izquierda y flecha derecha, donde el orden de colocación es el que indica.

La cara de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara y porta lámpara). El doble semáforo permite ver las indicaciones aunque uno de ellos lo tape un vehículo grande. La necesidad de colocar más de dos semáforos por acceso dependerá de las condiciones locales, tales como número de carriles, indicaciones direccionales, isletas para canalización, etc.

2.4 REQUISITOS PARA INSTALAR UN SEMÁFORO.

La selección y utilización de semáforos en intersecciones debe estar basada en un estudio técnico de ingeniería, de las condiciones viales, de tráfico y otros aspectos como accidentes.

El *Manual de Dispositivos Uniformes de Control de Tráfico o MUTCD*, define las normas utilizadas por los administradores de la carretera a nivel nacional, para instalar y mantener dispositivos de control de tráfico en todas las calles públicas, carreteras, ciclo vías y caminos abiertos al tráfico. El MUTCD es publicado por la Federal Highway Administration (FHWA) bajo el Código 23 de Regulaciones Federales (CFR), Parte 655, Subparte F.

El MUTCD es una compilación de normas para todos los dispositivos de control de tráfico, incluyendo las marcas de tráfico, señales de carreteras y señales de tráfico.

De acuerdo al MUTCD para poder justificar la instalación de un semáforo existen varios requisitos que se deben analizar.

2.4.1 Justificación

No debe instalarse a menos que se cumpla una de las condiciones especificadas a continuación.

No debe instalarse a menos que el estudio de ingeniería demuestre que hay mejoras en la operación y/o seguridad.

Se debe analizar cómo está funcionando actualmente la intersección (por ejemplo tipo PARE), se debe ingresar los datos de la intersección en el software, como son los flujos de tráfico y la geometría, y con estos datos se determinan las demoras totales. Una vez realizado esto, se procede a cambiar la intersección a tipo semafórica, y nuevamente se corre el programa para obtener las demoras. Una vez terminado, se comparan las demoras y si con la implementación del semáforo se obtienen mejores resultados; entonces se procede a chequear si cumplen los otros requisitos. Pero si el estudio de ingeniería demuestra que no va a mejorar, entonces no se debería instalar, es decir si los usuarios de la intersección van a demorar más, entonces no tendría sentido la instalación del semáforo.

Otro factor muy importante es el número de accidentes, si se observa el diagrama de colisiones y se verifica que con la instalación del semáforo se van a reducir, entonces se estaría cumpliendo con la parte de ingeniería.

No debe instalarse si causa una alteración seria en el flujo progresivo del tráfico. Si el caso es una autopista, no se debería instalar un semáforo ya que causaría serios problemas en el flujo.

2.4.2 Requisitos (MUTCD)

El MUTCD, establece ocho requisitos que se detallan a continuación. Siendo indispensable cualquiera de ellos y no es necesario cumplimiento de todos simultáneamente.

2.4.2.1 Volumen mínimo 8 horas (todas)

Dentro de este punto se pueden dar dos condiciones, debiendo cumplirse con cualquiera de ellas:

2.4.2.1.1 Condición A Volumen mínimo.

El volumen vehicular mínimo, está destinado para su aplicación en lugares donde existe un gran volumen de tráfico en la intersección, ésta es la razón principal para considerar la instalación de una señal de control de tráfico.

La intensidad del tránsito de vías que se cruzan es la principal justificación. Se cubre el requisito cuando en cualquiera de las ocho horas de un día representativo, se presenten los volúmenes mínimos indicados de la siguiente tabla:

Número de carriles por acceso		Vehículos por hora en calle principal (dos sentidos)				Vehículos por hora en acceso de mayor volumen (una sola dirección)			
Principal	Secundaria	100%a	80%b	70%c	56%d	100%a	80%b	70%c	56%d
1	1	500	400	350	280	150	120	105	84
2 ó más	1	600	480	420	336	150	120	105	84
2 ó más	2 ó más	600	480	420	336	200	160	140	112
1	2 ó más	500	400	350	280	200	160	140	112

- a) Mínimo básico.
- b) Combinación de condiciones a y b.
- c) Poblaciones de menos de 10000 velocidad > 70kph
- d) Combinación de condiciones a y b, Poblaciones de menos de 10000 velocidad > 70kph

TABLA No. 1: Condición A, Volumen Vehicular Mínimo.

FUENTE: MUTCD 2009.

Se debe cumplir la condición (a), que son 500 veh./hora en la calle principal y 150 veh./hora en la secundaria simultáneamente, en cualesquier ocho horas, en este caso está justificada la colocación de semáforos en la intersección siempre los parámetros 100% de (a).

2.4.2.1.2 Condición B interrupción del tránsito continuo.

La condición B, está destinado a ser aplicado en lugares donde la condición A no se cumple, y donde el volumen de tráfico en una calle principal es tan pesado, que el tráfico en una calle pequeña de la intersección sufre retrasos excesivos, o conflictos en entrar o cruzar la calle principal.

Se aplica cuando las condiciones de operación de la calle principal son de tal naturaleza, que el tránsito de la calle secundaria sufre demoras o riesgos excesivos, se tienen los volúmenes mínimos indicados en la Tabla No. 2:

Número de carriles por acceso		Vehículos por hora en calle principal (dos sentidos)				Vehículos por hora en acceso de mayor volumen (una sola dirección)			
Principal	Secundaria	100%a	80%b	70%c	56%d	100%a	80%b	70%c	56%d
1	1	750	600	525	420	75	60	53	42
2 ó más	1	900	720	630	504	75	60	53	42
2 ó más	2 ó más	900	720	630	504	100	80	70	56
1	2 ó más	750	600	525	420	100	80	70	56

TABLA No. 2: Condición B Interrupción del Tránsito Continuo.

FUENTE: MUTCD 2009.

Si no se cumple la condición anterior, y necesito probar realmente por que persiste el problema, y se desea instalar el semáforo; existen otras condiciones que se pueden

utilizar, como es el caso de la columna (b) de la condición A que serían 400 y 120 veh./hora y columna (b) de la condición B respectivamente, que en este caso serían 600 y 60 veh./hora. Para que se justifique la colocación del semáforo se tiene que cumplir simultáneamente la condición A y B.

La condición C se utiliza para el caso de poblaciones pequeñas (menores a 10.000 habitantes), y velocidades altas en el área.

Para todo lo anterior se debe tener presente que durante cualesquier ocho horas, no deben haber volúmenes menores a los valores que se están probando.

Si la condición A es satisfecha, entonces el análisis de la condición B y la combinación de las condiciones A y B no son necesarios. De manera similar, si la condición B se satisface, entonces la combinación de las condiciones A y B no es necesaria.

Por lo tanto si una de estas condiciones se cumple, y siempre que el estudio de ingeniería de tráfico demuestra una reducción en las demoras, entonces queda justificada la instalación del semáforo en la intersección.

2.4.2.2 Volumen mínimo 4 horas (todas)

Durante cuatro horas al día debe cumplirse por lo menos el volumen mínimo que se indica en el siguiente Figura No. 1.

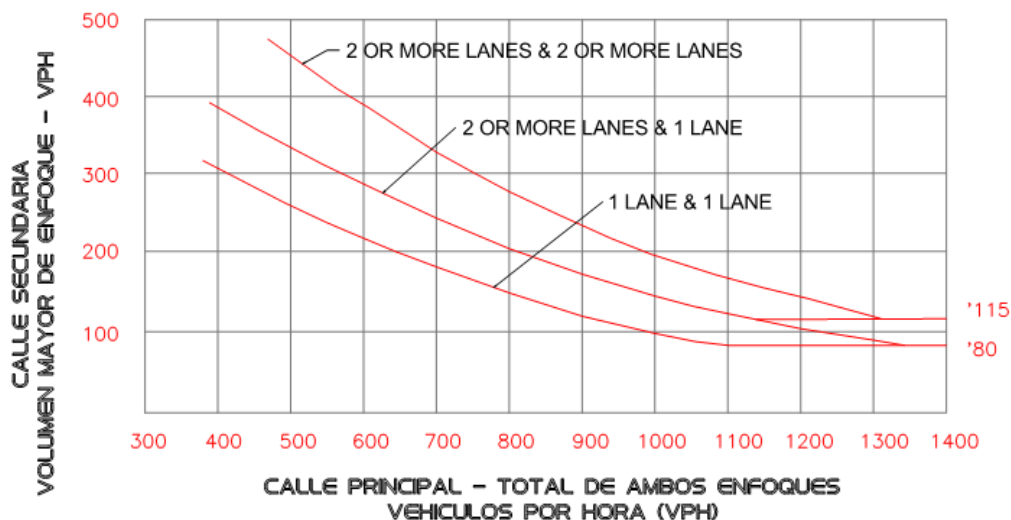


FIGURA No. 1: Condición A, Volumen Mínimo en 4 Horas.

FUENTE: MUTCD.

En el eje de las ordenadas se encuentra el volumen en la calle secundaria, en el brazo más cargado; es decir, en la entrada más cargada en la vía secundaria. En el eje de las abscisas el volumen en la vía principal; por lo tanto si el volumen en la intersección cae arriba de la línea correspondiente, entonces la colocación del semáforo queda justificada.

2.4.2.3 Hora pico

Está diseñado para uso en un lugar donde las condiciones del tráfico son tales que por un mínimo de una (1) hora de un día promedio, el menor de tráfico de la calle sufre dilaciones indebidas al entrar o cruzar la calle principal.

Sitios donde hay demoras excesivas en por lo menos una hora del día, casos inusuales como en complejos de oficinas, fábricas, universidades, etc. En donde el tráfico se

concentra en una determinada hora del día, ya sea por salida del personal que labora en esas dependencias, etc. Para esto existen también dos condiciones que son las siguientes:

2.4.2.3.1 *Condición A, todos los criterios para una misma hora*

Demoras mayores a 4 y 5 vehículos-hora, para uno y dos carriles respectivamente en la vía secundaria.

Volumen en vía secundaria mayor a 100 vehículos, para una vía y 150 vehículos, para dos, y Volumen total es decir la suma de todos los volúmenes que entran a la intersección excede 650 vehículos (Intersección de 3 brazos) y 800 vehículos. (Intersección de 4 brazos). En este caso estaría justificado de acuerdo al criterio número 3. Si no cumple con esta condición, entonces se debería cumplir con la condición B a continuación descrita.

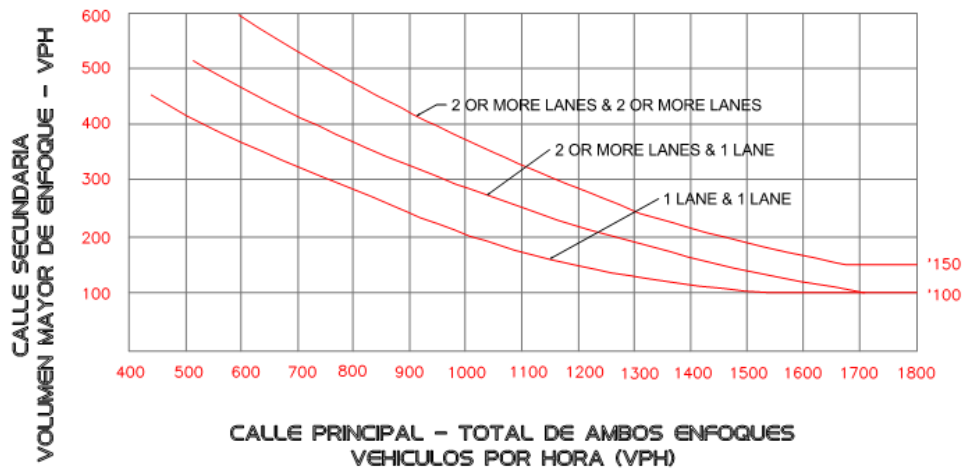


FIGURA No. 2: Hora Pico.

FUENTE: MUTCD 2009.

2.4.2.3.2 *Condición B*

Para esta condición se presenta un grafico similar al de la condición A. Los volúmenes para cualquier hora deben estar ubicados en el gráfico arriba de las líneas correspondientes. Por lo tanto si el volumen en la intersección cae arriba de la línea adecuada, entonces se estaría cumpliendo con la condición de hora pico y la colocación del semáforo queda justificada.

2.4.2.4 ***Volumen mínimo de Peatones***

En cuanto al número de peatones, el volumen mínimo de peatones se justifica si se presentan una de las siguientes condiciones:

El volumen de peatones que cruzan la vía principal es mayor a 100, en el día promedio para 4 horas cualesquiera o más de 190 durante una hora específica (como el caso de un colegio, a la hora de entrada o salida).

Existen menos de 60 brechas adecuadas en una hora para permitir el cruce de peatones (mismo período de análisis). Una vez determinadas las brechas se puede calcular la probabilidad de que durante una hora existan las brechas adecuadas para poder cruzar la vía. Se debe determinar cuál es la velocidad de circulación de los peatones (durante la hora más crítica); si se determina que un peatón camina a 4 Km/hora, entonces necesita un cierto número de segundos para cruzar; y adicionalmente se sabe cuál es el flujo vehicular, entonces se puede saber si existen el número suficientes de brechas durante una hora para que poder cruzar, considerando además un tiempo extra por seguridad de los peatones. Lo que se necesita es una

brecha para poder cruzar la vía cada minuto, y si se cumplen una de estas condiciones, entonces se debería instalar un semáforo peatonal.

NO aplicable si existe una intersección semafórica menos de 90m, a menos que la intersección propuesta no restrinja la progresión del flujo de tráfico.

2.4.2.5 ***Cruces de escuela***

Se debe chequear si no existe el número de brechas adecuadas, y al menos 20 estudiantes cruzando en una hora en el caso de escuelas; es decir, donde se vaya a instalar un semáforo peatonal, éste debe ser activado, ya que durante fines de semana y/o las tardes, no tiene sentido que el semáforo siga funcionando.

2.4.2.6 ***Coordinación de semáforos***

Este requisito es para proveer coordinación de semáforos. Cuando los semáforos se encuentran muy distantes uno de otro, entonces la coordinación no funciona adecuadamente, debido a que se produce una dispersión en el pelotón de vehículos, debido a que los conductores circulan con diferentes velocidades, ya que salen agrupados de la primera intersección pero al llegar a la segunda lo hacen desordenadamente, incluso llegan durante el periodo de rojo.

En estos casos se justifica la instalación de un semáforo para proveer esa coordinación, permitiendo que la mayoría de los vehículos lleguen durante el verde, lo cual reduce las demoras de los vehículos.

No se debe considerar su instalación si resultan espaciamientos menores a 300 metros, es decir se debe tener más de 600 metros entre las intersecciones para poder instalar un semáforo adicional.

2.4.2.7 **Accidentes**

Este requisito debe cumplirse siempre que otros métodos no hayan logrado reducirlos. Se debe tener 5 o más choques o colisiones susceptibles de solucionarse con semáforos en el último año (heridos, daños físicos), los mismos que deberían haber sido reportados, para poder ser contabilizados.

Si existen volúmenes no menores al 80% condición 1 (volumen mínimo), peatones no menor al 80% de la condición 4 (volumen de peatones), mínimo para cualesquiera 8 horas (no necesariamente continuas).

Esta condición está sujeta a una buena estadística de accidentes por parte de la policía (debiendo existir además, una manera normalizada de elaboración de partes o reportes de accidentes).

2.4.2.8 **Red vial**

Es la menos clara de todas, pero sirve para proveer una organización del tráfico en una red vial, para tratar de canalizar el tráfico a ciertas rutas, lo que manifiesta es que deberían haber por lo menos 1.000 vehículos entrantes, y cumplir condiciones 1,2,3 en tráfico proyectado a 5 años. Al menos 1.000 vehículos entrantes en 5 horas cualesquiera de un día no laborable y que sea una ruta principal.

Por lo tanto si se cumple con cualquiera de las ocho condiciones anteriores, entonces quedaría justificada la implementación de una intersección semafórica. Y una vez realizado este proceso, se debe realizar ya el análisis de ingeniería.

2.5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS OPERACIONAL DE INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS.

2.5.1 Características Generales.

En el siguiente trabajo, se presenta el análisis operacional de intersecciones con semáforos bajo condiciones de circulación discontinua. Condiciones que tienen que ver principalmente con la geometría de la intersección, el tránsito y los equipos semafóricos.

El presente análisis se apoya en la metodología seguida en el Highway Capacity Manual (HCM) 2000, (Manual de capacidad de carreteras), del Transportation Research Board (TRB), (Comisión de investigación del transporte) y el Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT).

Por otra parte, se profundiza el estudio de intersecciones con semáforos, los que se les considera como un dispositivo de control, y se calcula la distribución de cada uno de los tiempos del semáforo para ciertas condiciones prevalecientes dadas.

Por lo general no se pueden encontrar intersecciones en la que todos sus accesos funcionen en las mismas condiciones. Por lo tanto, se debe hacer referencia a las

capacidades de los diferentes accesos para movimientos críticos en sus carriles simples o agrupados, según sea el caso.

La infraestructura vial, sea ésta una vía rural o urbana, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como semáforos, que producen interrupciones en el mismo. En cambio, los sistemas viales de circulación discontinua producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito mediante la utilización de semáforos, señales de alto y otros tipos de regulación. Dependiendo del tipo de infraestructura a analizar se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.

A diferencia de los sistemas viales de circulación continua, la capacidad en las intersecciones con semáforos, no está totalmente correlacionada con determinado nivel de servicio, por lo que los dos conceptos deben estudiarse por separado. La capacidad, implica el cálculo de la relación volumen / capacidad para movimientos críticos en carriles simples o agrupados, mientras que el análisis del nivel de servicio se basa principalmente en la demora media de los vehículos detenidos por la acción de los semáforos.

2.5.2 Términos básicos.

- 2.5.2.1 **Aproximación:** Carriles o grupo de carriles a través de los cuales el tráfico entra en la intersección.
- 2.5.2.2 **Indicación de señal:** Encendido de una o varias luces permitiendo o prohibiendo un movimiento.
- 2.5.2.3 **Ciclo:** Tiempo de una secuencia completa de todas las indicaciones de señal.
- 2.5.2.4 **Fase:** Parte del ciclo asignado a ciertos movimientos específicos que reciben el derecho de paso simultáneamente.
- 2.5.2.5 **Intervalo:** Período del tiempo durante el cual las indicaciones de señal permanecen iguales para todas las aproximaciones.
- 2.5.2.6 **Movimiento (grupo de carriles):** Grupo de vehículos que se caracteriza por su dirección, uso de carriles y provisión de derecho de paso, pudiendo ser:
 - 2.5.2.6.1 **Giro Protegido:** Tiene el derecho de paso y no debe ceder el paso a otros movimientos conflictivos como vehículos o peatones.
 - 2.5.2.6.2 **Giro Permitido:** Debe ceder el paso a tráfico opuesto o movimientos peatonales conflictivos.

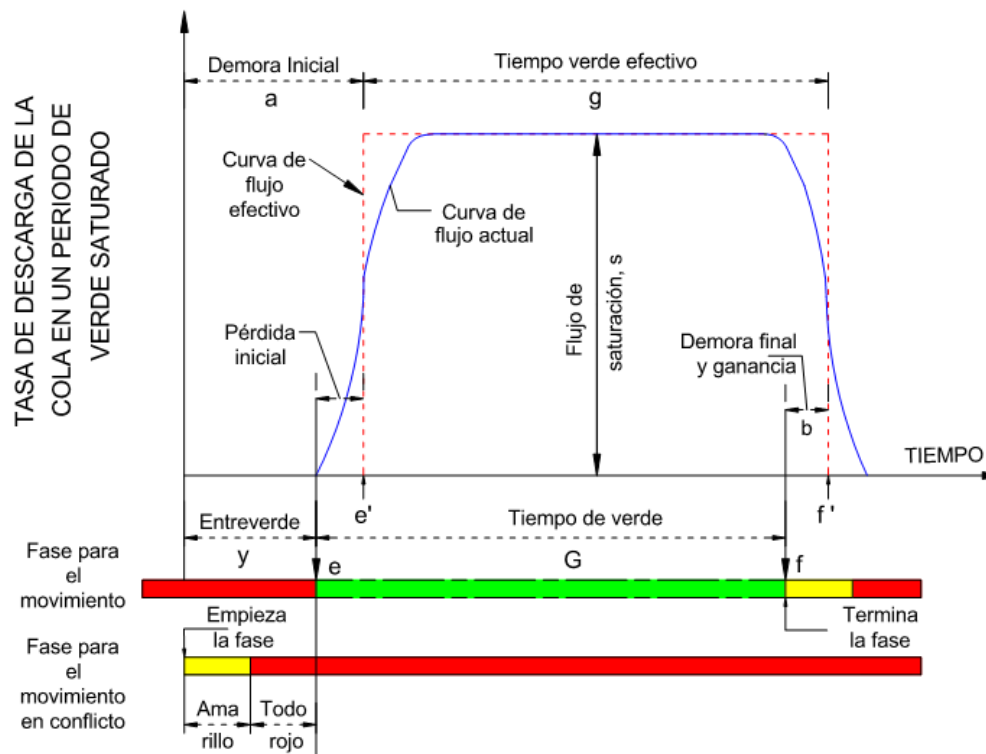


FIGURA No. 3: Flujo de Saturación.

FUENTE: HCM 2009.

En el eje de las ordenadas se encuentra la tasa de descarga y en el eje de las abscisas el tiempo de un ciclo del semáforo, se indica un tiempo de entreverde, que es el período antes de la fase de verde. Una vez que se muestra la señal (verde), los vehículos, no parten de forma inmediata, siempre existe un tiempo de percepción y reacción.

Una vez iniciada la fase de verde comienzan a descargarse de los vehículos, y a subir la tasa del flujo (veh./hora), hasta que llega a un nivel máximo; ese nivel se determina **flujo de saturación**, que es el máximo número de vehículos que pueden circular por un carril o grupo de carriles cuando tienen el derecho de paso (tiempo de verde),

considerando además existe una capacidad máxima de vehículos que pueden circular por un carril.

Si una intersección tiene el tráfico completo, es decir se encuentra llena y operando con un semáforo bien programado, se tiene un flujo de saturación hasta que aparece el ámbar (color amarillo del semáforo). Una vez ocurrido esto, la tasa comienza a decrecer, hasta que pasan los últimos vehículos que transitaron durante el tiempo de ámbar. Todo esto constituye el total de vehículos que ingresaron a la intersección.

Existe un concepto sobre las pérdidas y ganancias de los vehículos. Siendo las primeras el tiempo que no se aprovecha debido a que los conductores están reaccionando antes de entrar a la intersección, y por otro lado se tiene una ganancia final, debido a que cuando el tiempo de ámbar a iniciado una vez terminada la fase de verde, los vehículos todavía están circulando. Todo esto sirve para determinar el tiempo efectivo de semáforo.

2.5.2.7 **Verde efectivo:**

Tiempo de verde + ganancia final – pérdidas iniciales.

$$g_i = G_i + ff' - ee'$$

ECUACIÓN No. 1: Verde Efectivo.

Verde efectivo es igual a la suma de: Verde programado, menos las pérdidas iniciales, más las ganancias finales. Todo esto debe surgir de un análisis de la intersección, ya

que depende de los usuarios, existen sitios en donde la gente maneja de forma agresiva, por lo general en ciudades pequeñas los conductores se detienen una vez se indica el ámbar, pero en ciudades congestionadas, los conductores aprovechan hasta el final del tiempo de ámbar para cruzar la intersección, por lo que éste tiempo puede variar de ciudad en ciudad. En general se asume que lo que se pierde al inicio se gana al final; es decir, se asume que el verde efectivo, es igual al verde programado cuando no se cuenta con este dato específico.

2.5.2.8 **Intervalo de cambio de fase ó Tiempo de Entreverde:**

Está compuesto por el tiempo de ámbar, mas el tiempo de todo rojo, que es el tiempo durante el cual todos los vehículos están detenidos, y permite liberar o despejar la intersección.

El ciclo de un semáforo, es la suma de todos los tiempos anteriores, más el tiempo de rojo. Por lo tanto:

Tiempo de Entreverde = Tiempo de ámbar (amarillo) + todo rojo (despeje intersección).

2.5.2.9 **Tiempo perdido (Li):**

Es el tiempo durante el cual la intersección no es utilizada efectivamente por ningún movimiento; es decir, por ningún vehículo, ya que existen momentos durante el ciclo en los cuales nadie está utilizando la intersección, entonces para cada fase:

Tiempo perdido = Tiempo entreverde + pérdida inicial – ganancia final.

$$L_i = t_{ev} + ee' - ff'$$

ECUACIÓN No. 2: Tiempo Perdido.

2.5.2.10 **Flujo de saturación (S):**

Constituye la tasa de flujo horaria a la cual pueden atravesar los vehículos, haciendo cola bajo condiciones prevalecientes, asumiendo que la señal de verde está disponible, y no existen pérdidas iniciales. Es el flujo que una vez iniciado el verde, llena la intersección. No existen vehículos que arriben durante la fase de verde; es decir, el flujo de saturación es el número máximo de estos vehículos que pueden cruzar. Es la capacidad del carril durante la fase de verde a su favor.

2.5.2.11 **Capacidad de una aproximación (Q):**

La capacidad es el máximo flujo que puede atravesar una intersección, dadas las condiciones prevalecientes y el verde efectivo asignado por ciclo para cada movimiento. Es el máximo volumen de vehículos que va a atravesar la intersección durante la fase de verde. Dependiendo de cuánto tiempo de verde se tiene asignado:

$$Q = S * g/c$$

ECUACIÓN No. 3: Flujo de Saturación (S).

Donde:

- S = flujo de saturación (1900 veh./hora).

- g = verde efectivo del grupo de carriles (s).
- C = longitud del ciclo (s).

Es el número de vehículos que puede pasar durante una hora, por lo que depende del flujo de saturación, y el tiempo de verde asignado, como del ciclo total del semáforo.

La relación de pelotón R_p se calcula como:

$$R_p = \frac{P}{g/c}$$

ECUACIÓN No. 4: Relación de Pelotón (R_p).

Donde:

- P = proporción de todos los vehículos que llegan durante la fase verde.
- C = longitud del ciclo (s).
- g = verde efectivo del grupo de carriles (s).

2.5.2.12 **Cálculo de Tiempos**

Para calcular los tiempos del semáforo, se deben realizar una serie de pasos, que básicamente consisten en efectuar el diseño de la intersección semafórica. El primero de ellos es determinar las fases, es decir cuál va a ser el esquema de fases que va a operar en la intersección. Una vez terminadas las fases se debe establecer los grupos de carriles para el análisis. Terminado estas etapas, se debe estimar o medir los flujos de saturación en cada uno de los grupos de carriles.

Este proceso se puede realizar de dos maneras, midiendo en campo o mediante el cálculo utilizando la metodología del HCM 200, siendo muy importante comparar los resultados para determinar si la metodología empleada es apropiada para nuestro país.

Posteriormente se deben escoger cuales son los volúmenes críticos, ya que son éstos quienes determinan el ciclo y la repartición de verdes del semáforo. Determinar el tiempo de ámbar entre verdes como también el tiempo perdido total. Calcular el tiempo del ciclo, el mismo que está en función del volumen del tráfico. Una vez que se tenga el cálculo del ciclo, se procede con la repartición de verdes entre cada una de las fases. Básicamente este el proceso de diseño de una intersección semafórica.

El siguiente esquema muestra la entrada y el orden de cálculo básico para el método. La salida principal del método es el nivel del servicio. Esta metodología cubre una amplia gama de configuraciones operacionales, incluyendo combinaciones de planes de eliminación de carriles, giros izquierdos y las alternativas de tratamiento.

2.5.3 Esquema de la Metodología para el Análisis de Intersecciones Semafóricas.

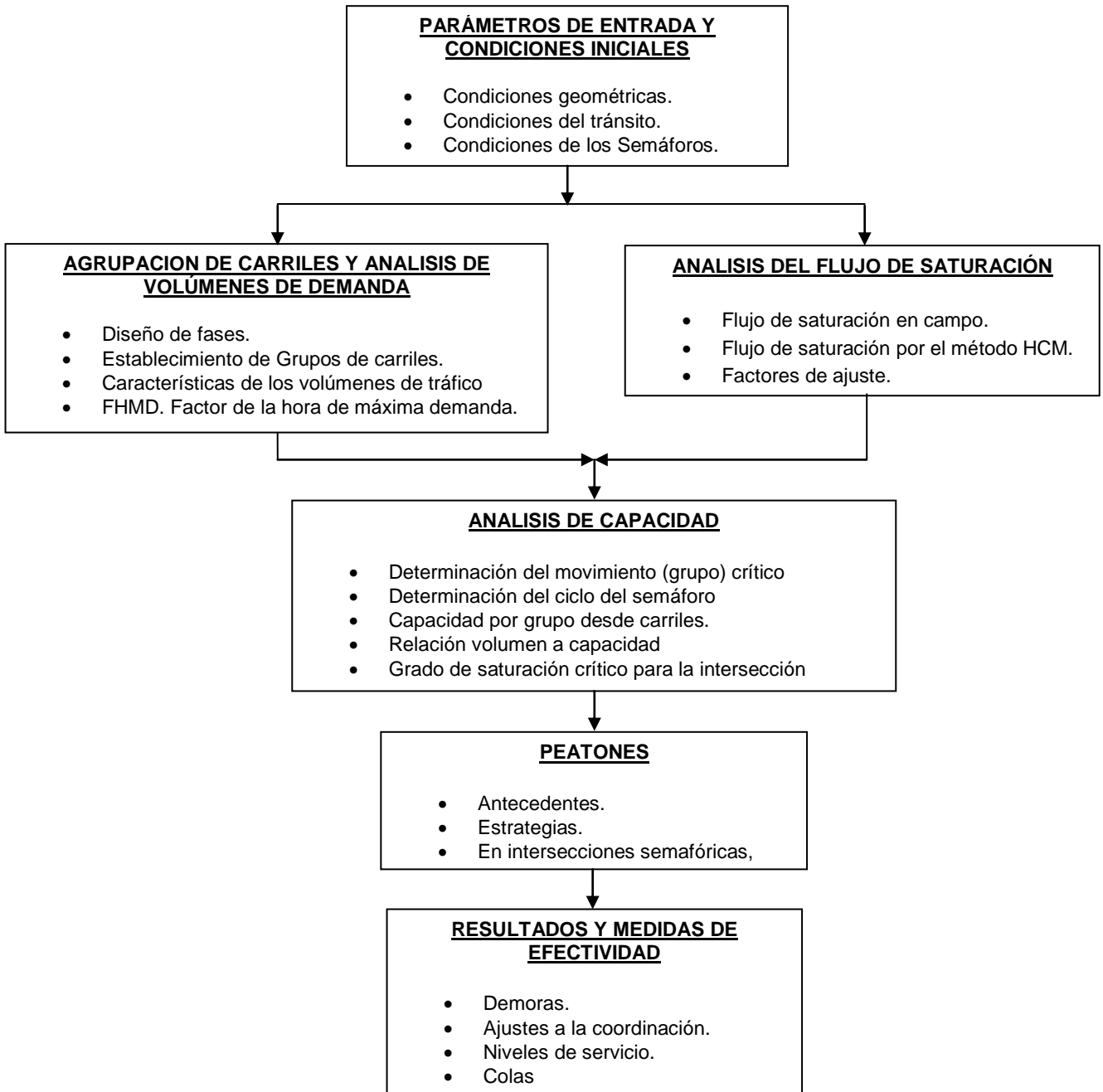


FIGURA No. 4: Esquema de metodología para el análisis de intersecciones semafóricas.
FUENTE: El Autor.

Por medio del análisis operacional de intersecciones podemos determinar el nivel de servicio y la capacidad de cada uno de los grupos de carriles o accesos, además del nivel de servicio de la intersección en forma general, a través de condiciones de control semafórico, de tránsito y sobre todo geométricas.

2.5.4 Parámetros de Entrada y Condiciones Iniciales.

2.5.4.1 Condiciones Geométricas

Las condiciones geométricas se refieren a la configuración física de la intersección. Debe ser presentada mediante diagramas, en términos del número, ancho y movimientos por carril, ubicación de estacionamientos, longitudes de bahías para giros y pendientes de los accesos.

2.5.4.1.1 Diagnóstico Oferta e Infraestructura Vial

2.5.4.1.1.1 Caracterización de las vías de acceso

Se debe realizar una caracterización de las vías que al cruzarse forman la intersección (un diagrama físico completo de la intersección), determinar el orden de las vías como: arteriales, colectoras, locales, etc. Identificar el sentido por ejemplo simple o doble, y además su orientación como Norte, Sur Este, Oeste o sus combinaciones.

En la calzada se debe determinar el número de carriles por sentido, sus anchos que pueden ser variables en algunos tramos. Así como también la geometría de aceras y bordillos de los costados (en el área de estudio). Presencia de estacionamiento, líneas de buses, giros permitidos, existencia de carriles exclusivos (Izquierda o Derecha), longitud de las bahías y gradientes, en el cual se muestren todos los elementos como

son postes, entradas, configuraciones, es decir un diagrama lo más completo posible, y si el problema son los accidentes debe realizar un diagrama de colisiones recopilando datos de la policía, en el cual podemos tener todos los datos de accidentes ocurridos en los últimos meses.

Indicar además condiciones como paralelismo y perpendicularidad entre las vías para poder describir mejor la ubicación de las mismas.

2.5.4.1.2 Condición del pavimento

Se debe evaluar la infraestructura vial en el área de estudio, expresando la condición en la que se encuentra (regular, irregular, presencia de grietas a nivel de capa de rodadura de pavimento, etc.)

2.5.4.1.3 Operación y seguridad

Observar problemas de operación en la vía a, tales como estacionamiento, estado del flujo, si existe problemas cuando se improvisan paradas tanto por usuarios del transporte público como transportistas, etc.

La escasa señalización horizontal y vertical en la mayoría de casos, así como la falta de mantenimiento (vegetación crecida) en tramos de la vía puede producir potenciales riesgos de seguridad, esto debido a que por lo general no están delimitados cruces de los peatones, ni indicados las paradas para el transporte público.

2.5.4.2 Condiciones del tránsito

2.5.4.2.1 Composición del tráfico:

Previa la encuesta será definida por el número de ejes, de acuerdo al siguiente criterio:

2.5.4.2.1.1 *Livianos*: Todos los vehículos con dos ejes y el eje posterior con llanta simple.

2.5.4.2.1.2 *Buses*: Vehículos destinados al transporte de pasajeros y tienen eje posterior de doble llanta y pueden ser de dos y tres ejes.

2.5.4.2.1.3 *Camiones*: Vehículos destinados al transporte de carga y se clasifican por el número de ejes:

- Camiones de dos ejes, con eje posterior de doble llanta.
- Camiones de tres ejes (mulas).

2.5.4.2.1.4 *Tráiler*: Camiones de 4 o más ejes (tráiler).

2.5.4.2.1.5 *Otros*: Motos, bicicletas, combinación de dos ejes.

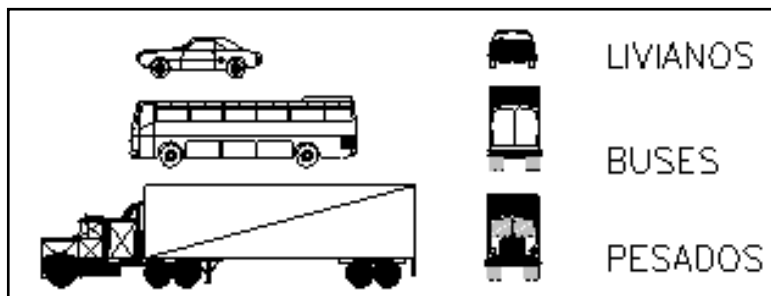


FIGURA No. 5: Composición de Tráfico.

FUENTE: El Autor.

Luego de la obtención de estos valores se los tabula y se realiza el análisis de cada una de las intersecciones para verificar si cumplen los requisitos para ser semaforizadas los cuales son:

2.5.4.2.2 *Estudio de volúmenes de tránsito.*

Un estudio de tráfico sería lo deseable obtener para un estudio de intersecciones, consiste en determinar los volúmenes de vehículos entrando a la intersección en un periodo de 12 horas un día típico, pudiendo ser considerado como tal un día en el cual las escuelas se encuentran operando, y por lo general se considera los Martes, Miércoles y Jueves, ya que los Lunes y Viernes suelen tener variaciones con respecto a las horas de mayor demanda.

Los movimientos deben estar clasificados por giros de cada vehículo, por tipo de vehículo, y además agrupados en periodos de 15 minutos. Adicionalmente se debe considerar el número de peatones si es que el número de ellos es importante en la intersección, además datos de la velocidad de los vehículos, es decir las velocidades a las que opera la intersección.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas, sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calles. Dichos datos se expresan en relación con el tiempo, y su conocimiento hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios.

Los estudios varían desde un amplio conocimiento del sistema vial, hasta los sencillos en los lugares específicos, como lo son: intersecciones aisladas, puentes, peajes, etc.

Las distintas formas para obtener los volúmenes de tránsito, varían desde el uso de aparatos de medición de diversa índole; otras, se basan en el conteo manual a cargo de personas que se interesan especialmente en los movimientos direccionales en las intersecciones, los volúmenes por carriles y la composición vehicular. También tenemos los conteos por combinación de métodos manuales y mecánicos; dispositivos mecánicos, los cuales automáticamente contabilizan y registran los ejes de los vehículos; y los conteos con utilización de técnicas sofisticadas como cámaras fotográficas, filmaciones y equipos adaptados a computadoras.

Para cada movimiento, en cada uno de los accesos, se debe contar con los volúmenes del tránsito clasificado, esto es en términos de automóviles, autobuses y camiones. Por otro lado se debe considerar el número de buses que realizan paradas en la intersección, para embarque o desembarque de pasajeros, antes o después de la intersección, siendo éstos de especial consideración, no así los buses que no se detienen, y por lo tanto deben ser considerados como vehículos pesados.

Los flujos peatonales y de bicicleta utilizados para analizar un acceso, son los flujos en el cruce peatonal que interfieren con los vehículos que dan la vuelta a la derecha, pudiendo entrar en conflicto con giros a la derecha permitidos.

Finalmente, se debe definir el tipo de llegadas a los accesos de la intersección, el cual indica el grado de progresión del flujo vehicular entre intersecciones; para ello se consideran cinco tipos, donde el tipo 1 define la condición de llegada de grupos de

vehículos al inicio de la fase roja y el tipo 5 las llegadas de densos grupos vehiculares al inicio de la fase verde.

2.5.4.2.3 **Metodología de conteo vehicular.**

1. Realizar conteos vehiculares clasificados en la intersección, durante dos días hábiles y día de fin de semana, en el período comprendido entre las 7h00 y las 19h00, las mismas que deben ser divididas en intervalos de 15 minutos para procesar mejor la información.
2. La clasificación vehicular está en función del número de ejes que posee el vehículo y la función que desempeñan, además dependiendo del tipo de giro que realicen en la intersección se realizará su registro respectivo.
3. El trabajo de conteo se efectuará independientemente en cada vpa asignada, y para la obtención de resultados del flujo de vehículos en la intersección se procederá a unir los datos de cada una de las respectivas entradas.
4. Los datos serán llevados en hojas pre-impresas, individualmente, en las mismas que deben constar la siguiente información.

- Nombre del encuestador.
- Fecha.
- Hora de inicio.
- Hora de finalización.
- Recorrido.
- Periodos.
- Estación.
- Hora.
- Vehículos livianos.
- Taxis.
- Busetas.
- Buses.
- Camiones 2 ejes.
- Camiones 3 ejes.
- Camiones de 4 ejes o más.
- Otros.

Pudiendo variar según la necesidad y el nivel de detalle. Los materiales que se debe utilizar son: hojas pre-impresas, tablero, lápiz, reloj (sincronizado a una hora común); además accesorios como sillas, gorras, etc.

Es necesario además realizar conteos automáticos durante una semana normal, iniciando el Domingo hasta el Domingo siguiente. Los reportes de los conteos automáticos se los agrupará en períodos de 15 minutos durante toda la semana ininterrumpidamente. Se determinará la óptima ubicación de los mismos.

2.5.4.3 *Inventario de dispositivos y condiciones de los semáforos.*

Para llevar a cabo el inventario de los dispositivos de control de tránsito de la zona en estudio se procede de la siguiente forma:

Se realiza un recorrido de la intersección, observando detalladamente todos los dispositivos, a los cuales se les determino: el tipo, el estado en el que se encuentran, su ubicación respecto a la calzada o a la intersección. A cada semáforo (vehicular o peatonal), se le median sus dimensiones y el tiempo de duración de las fases y su correspondiente ciclo; este procedimiento se desarrolla de igual manera para todos los equipos instalados en la intersección.

Luego se compara su forma, colores y dimensiones con los establecidos en el manual de dispositivos de control de tránsito del país, y a partir de esto se obtendrán las respectivas conclusiones.

En las intersecciones se deben verificar varios aspectos como: funcionalidad, sistema de protección y sistema de puesta a tierra, sistema de instalación eléctrica, armarios de

protección, sistema de control. Poniendo énfasis en detalles como: tipo y estado de soportes de báculos, toma y puesta a tierra, estado de ductos y pozos de revisión, ubicación de semáforos y etapas de circulación.

2.5.5 Agrupación de Carriles y Análisis de Volúmenes de Demanda.

2.5.5.1 Diseño de las Fases

El diseño de las fases depende principalmente del número de aproximaciones de la intersección y de los giros izquierdos, debido a que éstos son los que más complican el diseño. Como regla general, se deben utilizar el mínimo número posible de fases que permitan un correcto funcionamiento de la intersección.

El diseño más simple y común que existe es el de dos fases. En el cuál en la primera se permite que el tráfico en el sentido por ejemplo: Norte-Sur y Sur-Norte prosigan y que los flujos en las direcciones Este-Oeste y Oeste-Este se detengan. Y los giros izquierdos son de tipo permitido, sin tener asignada una fase exclusiva, sino que los vehículos deben aguardar una brecha adecuada para poder cruzar. Y de igual manera ocurre en la segunda fase. Este es el diseño más simple de un semáforo con dos fases con giros izquierdos permitidos.



FIGURA No. 6: Esquema de un Semáforo con Dos Fases.

FUENTE: El Autor.

Cuando los volúmenes de tráfico sean mayores y se precisa incorporar una fase de giro izquierdo, entonces se tendría un diseño con tres fases, en la cual en una primera instancia se permite todos los giros izquierdos de la intersección en el sentido Norte-Sur y Sur-Norte, mientras los otros se encuentran detenidos.

En una segunda fase se permiten los flujos Norte-Sur y Sur-Norte, y el resto quedan detenidos, al igual que los giros izquierdos ya que ellos tienen una fase propia. Finalmente en la tercera fase, se permite los giros Este-Oeste y Oeste-Este y los demás quedan detenidos.

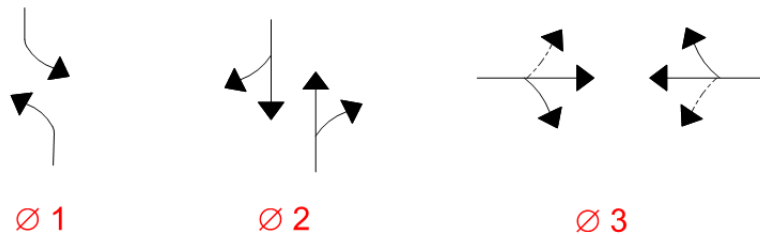


FIGURA No. 7: Esquema de un Semáforo con Tres Fases.

FUENTE: El Autor.

2.5.5.1.1 *Fase de giro a la izquierda (protegido)*

Para colocar fases de giro izquierdo protegido, que consiste en dar una fase de verde para que los vehículos realicen el giro hacia la izquierda, se deben tener en consideración ciertas reglas tales como:

1. Solo debería realizarse si se cuenta con un carril exclusivo o una bahía de giro izquierdo, caso contrario no se debería realizar este giro. Si esto sucediera sin

una bahía exclusiva, lo que sucede es que la capacidad del carril se reduciría a la mitad.

2. La demanda de vehículos debe ser mayor a 240 veh./h. realizando ese giro.
3. Existen otras condiciones que se deben tener en consideración como son: El producto de la demanda de viraje a la izquierda y el flujo opuesto en una hora es mas de:
 - 50.000 para un carril opuesto.
 - 90.000 para dos carriles opuestos.
 - 110.000 para tres o más.

Adicionalmente se pueden implementar otras estrategias como es el viraje adelantado o el viraje retrasado.

2.5.5.1.2 *Prohibición giros a la izquierda*

Siempre puede darse la condición contraria, esto es la prohibición de giros. Dado que es el que genera el mayor número de problemas debido a que se crea una fase adicional, lo cual conlleva a tener un mayor tiempo de ciclo lo que significa mayores demoras para los usuarios. Se puede prohibir en algunos casos a menos que:

No exista ninguna otra alternativa, y los vehículos necesariamente deben realizarlo en este lugar y se traslade el problema, debido a que al prohibir este tipo de giro en una intersección los vehículos tengan que realizarlo en la siguiente o en otra más adelante, en la cual el problema es exactamente el mismo.

Tampoco se debería realizar, si la ruta alternativa se basa en virajes a la derecha (ruta más larga), puede pasar dos veces por la misma intersección. En este caso no se debería restringir el giro.

Cuando se analiza una intersección el parámetro que más interesa son las demoras, por lo tanto si al restringir este giro se están reduciendo las demoras de la intersección, debería implementarse, y por otro lado si al restringir este giro se está produciendo un mayor recorrido de los vehículos y por ende una mayor demora, entonces no debería implementarse esta solución.

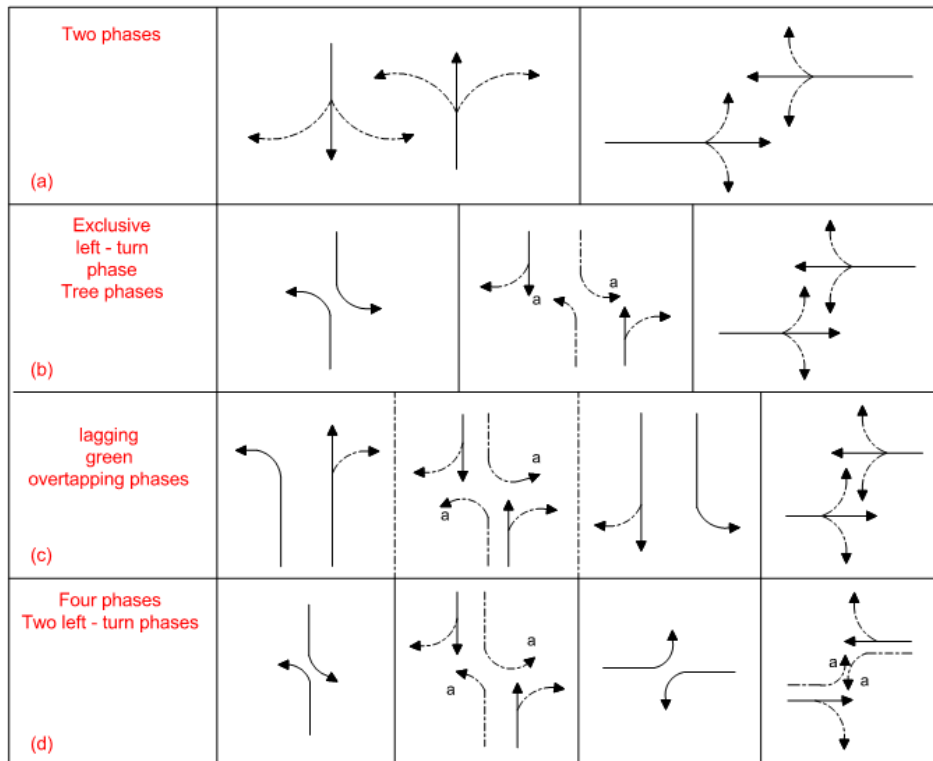


FIGURA No. 8: Combinaciones Típicas de Fases.

FUENTE: TRB, HCM 2000.

En general lo que se debería hacer es realizar un análisis completo de toda la zona, para de esta manera poder analizar de mejor manera las demoras en las intersecciones. Por lo que los análisis especialmente en zonas urbanas, no debe limitarse a algo puntual ya que este es uno de los errores que se suelen cometer. Se deben determinar las áreas de influencia, y en base de esto realizar un análisis global, que se realizaría por medio de un estudio de gerenciamiento de tráfico.

En la figura anterior se muestra básicamente los tipos más comunes de fases, pudiendo variar o alternarse dependiendo del número de aproximaciones y de la combinación con giros exclusivos como se da en el caso de sistemas de transporte público.

2.5.5.2 Establecimiento de Grupos de Carriles

Para determinar un grupo de carriles la metodología considera aproximaciones y grupos de de carriles individuales en las mismas. Para esto se debe suponer la geometría de la intersección y la distribución de los movimientos. Determinando el menor número de carriles que describa la real operación de la intersección. Por lo tanto un grupo de carriles constituyen todos los carriles de un acceso que cargan un conjunto de flujos vehiculares. Se deben establecer grupos de carriles apropiados.

Existen ciertas reglas para determinar los grupos de carriles:

Si se tiene movimientos exclusivos como cuando se dispone de una bahía para giros a la izquierda o derecha, éstos se consideran como un solo grupo.

Si se disponen de carriles con igual grado de utilización, se consideran carriles compartidos, los mismos que constituirían un grupo. Un grupo de vehículos se caracteriza por su dirección, uso de carriles y provisión de derecho de paso.

Para el análisis es necesario establecer grupos de carriles apropiados. Deberán establecerse grupos separados, cuando se disponga de bahías exclusivas de vuelta a la izquierda y a la derecha; los demás carriles directos se consideran en un grupo simple de carriles.

Cuando se tenga carriles de vuelta a la izquierda compartidos, se deberá evaluar la operación en el carril compartido para determinar si efectivamente funciona como carril exclusivo de vuelta a la izquierda, debido a la presencia de altos volúmenes de vuelta a la izquierda. Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de la extrema izquierda es menor que el flujo promedio en los demás carriles, se supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un grupo de carriles simple.

Cuando existan carriles subutilizados o carriles de giro de facto, también se vuelven un solo grupo, cuando le mayor número de los vehículos realiza uno de los giros

En caso de ser mayor, el carril exterior debe designar como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda en un grupo de carriles separados. Matemáticamente esto se expresa así:

$$V_I < \frac{V_a - V_I}{N-1}$$

ECUACIÓN No. 5: Volumen Actual de Vuelta a la Izquierda Menor.

$$V_I \geq \frac{V_a - V_I}{N-1}$$

ECUACIÓN No. 6: Volumen Actual de Vuelta a la Izquierda Mayor o Igual.

Donde:

- V_I = volumen actual de vuelta a la izquierda (veh./h).
- V_a = volumen actual en el acceso (veh./h).
- N = número de carriles del acceso.

Si se cumple la desigualdad de la Ecuación No. 5, el carril extremo izquierdo es un carril compartido y se usa un solo grupo de carriles para todo el acceso. Si por el contrario, no cumple la desigualdad de la Ecuación No. 6, el carril extremo izquierdo actúa como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y; por lo tanto, deberá establecerse como un grupo esperado de carriles.

En cuanto a la asignación de volúmenes a grupos de carriles, se sabe que cuando dos o más carriles sirven a un mismo movimiento vehicular, los volúmenes no se distribuyen de manera igual entre los carriles. Por lo tanto, un carril carga un volumen de tránsito mayor que los demás.

Numero de carriles	Movimientos		Posibilidad de grupos de carriles
1	GI + D + GD		①
2	GI exc		②
	D + GD		
2	GI + D		①
	D + GD		
3	GI exc		②
	D		
	D + GD		③

GI = GIRO IZQUIERDO
D = DIRECTO (A TRAVES)
GD = GIRO DERECHO

FIGURA No. 9: Combinaciones típicas para realizar análisis de grupos de carriles.

FUENTE: TBR. HCM 2000.

2.5.5.3 Características de los Volúmenes de Tránsito.

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos, sin embargo, debido a que sus variaciones son rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, y proveer con la debida

anticipación de las fuerzas dedicadas al control del tránsito y labor preventiva, así como las de conservación.

Por lo tanto, es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Aún más, también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de carriles, su distribución direccional y su composición.

2.5.5.3.1 Distribución y composición del volumen de tránsito.

La distribución de los volúmenes de tránsito por carril debe ser considerada, tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras. Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo se asemeja a una corriente hidráulica. Así, al medir los volúmenes de tránsito por carril, en zona urbana, la mayor velocidad y capacidad, generalmente se logra en el carril del medio; las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis y las vueltas a izquierda y derecha causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen en el carril cercano a la vereda.

En cuanto a la distribución direccional, en las calles que comunican el centro de la ciudad con la periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en las tardes y en las noches.

En los estudios de volúmenes de tránsito es útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de buses y de camiones.

2.5.5.3.2 *Variación horaria del volumen de tránsito*

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen del tipo de ruta, según las actividades que prevalezcan en ella, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc.

2.5.5.3.3 *Variación diaria del volumen de tránsito*

Para carreteras principales de lunes a viernes los volúmenes son muy estables; los máximos, generalmente se registran durante el fin de semana, ya sea sábado o el domingo, debido a que durante estos días por estas carreteras circula una alta demanda de usuarios de tipo turísticos y recreacional. En las carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad, la variación de los volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto es, están más o menos distribuidos en los días laborales, sin embargo, los más altos volúmenes ocurren el viernes. También vale la pena mencionar, con referencia a la variación diaria de los volúmenes de tránsito tanto a nivel urbano como rural, que se presentan máximos en aquellos días de eventos especiales como semana santa, Navidad, fin de año, competencias deportivas nacionales e internacionales, etc.

2.5.5.3.4 Variación mensual del volumen de tránsito

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en vacaciones escolares y fin de año por las fiestas y vacaciones navideñas. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diario que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también, en cierta medida, de la categoría y del tipo de servicio que presten las calles y carreteras. Sin embargo el patrón de variación de cualquier vialidad, no cambia grandemente de año en año, a menos que ocurran cambios importantes en su diseño.

2.5.5.4 Factor de Hora de Máxima Demanda FHMD:

Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

En zonas urbanas la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente en un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante, durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos

mayores a la de la hora misma. Para la hora de máxima demanda, VHMD, y el flujo máximo, $q(max)$, que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa como:

$$FHMD = VHMD / N * q(max)$$

ECUACIÓN No. 7: Variación del Volumen de Tránsito en la Hora de Máxima Demanda.

Donde:

- N=número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los periodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 o 15 minutos, utilizando este último con mayor frecuencia, en cuyo caso el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD = VHMD / 4 * q(max15)$$

ECUACIÓN No. 8: Variación del Volumen de Tránsito en la Hora de Máxima Demanda. (Periodo de 15 Minutos).

Para el periodo de 5 minutos, el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD = VHMD / 12 * q(max5)$$

ECUACIÓN No. 9: Variación del Volumen de Tránsito en la Hora de Máxima Demanda. (Periodo de 5 Minutos).

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora.

2.5.5.4.1 Metodología

Obtener los volúmenes de flujo dentro de la hora de máxima demanda, separados en intervalos (horas: minutos) de 15 minutos cada uno $q_{15(i)}$.

Obtener las tasas de flujo para cada periodo $q(i) = q_1, q_2, q_3, q_4$ mediante la siguiente expresión:

$$q = N/T$$

ECUACIÓN No. 10: Tasas de Flujo para Cada Periodo.

Donde:

- N: Volumen de tráfico cada 15 minutos.
- T: Tiempo en horas, para ello se debe multiplicar por 60 (1 hora=60minutos).

El Volumen Horario (Q) se calcula mediante:

$$Q = Q_{15(1)} + Q_{15(2)} + Q_{15(3)} + Q_{15(4)}$$

ECUACIÓN No. 11: Volumen Horario.

Este volumen horario referido a un período de 15 minutos (0,25 horas) es: Q_{15} , mediante la siguiente expresión:

$$Q_{15} = Q / 15$$

ECUACIÓN No. 12: Volumen Horario Periodo 15 Minutos.

Donde

- Q: Volumen Horario.
- 15: periodo de 15 minutos..

Para una mejor interpretación, se debe realizar una representación grafica de los resultados. La siguiente figura muestra los diferentes volúmenes, al igual que el volumen horario, referidos a períodos de 15 minutos:

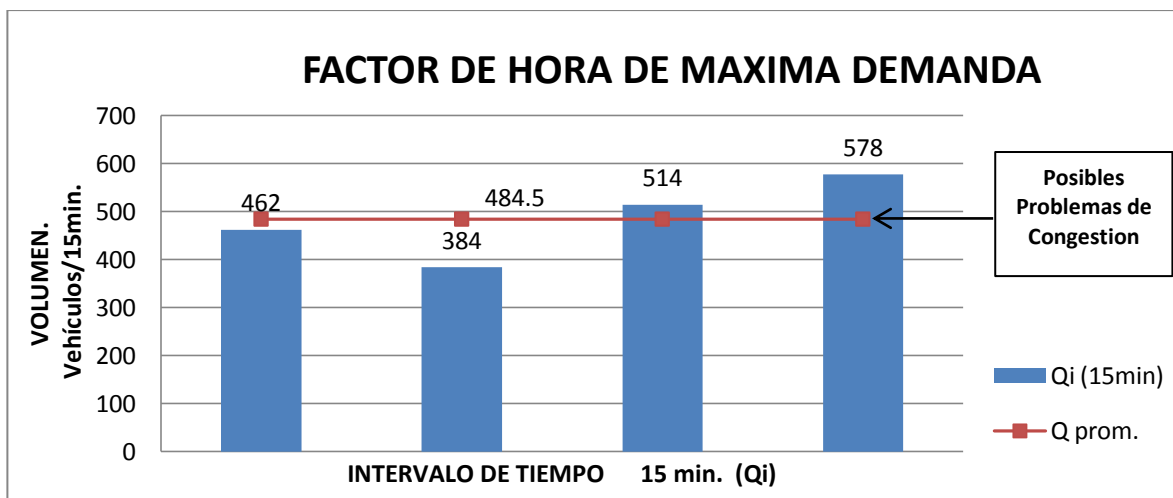


FIGURA No. 10: Factor de hora de máxima demanda, referidos a períodos de 15 minutos.

FUENTE: El Autor.

La tasa de flujo máximo corresponde al tercero y cuarto período. Por lo tanto:

$$q_{m\acute{a}x} = q_{4,q3} > Q$$

ECUACIÓN No. 13: Tasa de Flujo Máximo – Tercer y Cuarto Periodo.

2.5.5.4.2 Factor de hora pico (PHF)

Según el HCM, existen variaciones del tráfico dentro de la misma hora en la que se está diseñando, es decir existe un pico interno, que es realmente para el cual se debe diseñar, sin embargo por facilidad, se determinan en volúmenes por hora.

Sin embargo la forma de determinar el factor de hora pico es igual al volumen horario sobre cuatro veces el volumen máximo en el periodo de quince minutos. Este valor siempre es menor a uno.

Si no se disponen de este nivel de detalle en el conteo, el HCM en el capítulo diez recomienda valores de PHF que pueden ser utilizados según el tipo de vías si esta en zona urbana, rural, etc.

$$PHF = (V \text{ horario}) / (4 * V_{max15})$$

ECUACIÓN No. 14: Factor Hora Pico.

2.5.6 Análisis del Flujo de Saturación.

2.5.6.1 Determinación del flujo de saturación en campo.

El flujo de saturación corresponde a la máxima descarga de tráfico durante el período de verde. Esta se obtiene generalmente luego de 10 a 14 segundos de iniciado la fase de verde, y corresponde aproximadamente al tiempo en el cual el cuarto vehículo (eje delantero) cruza la línea de pare luego de iniciado el período de verde, de acuerdo a la metodología del HCM 2000. (cap 16, anexo H, p. 16.158-160).

Para medir correctamente el flujo de saturación, se deben contabilizar únicamente los vehículos que estaban haciendo fila. Todo vehículo que llegue durante la fase de verde puede distorsionar los resultados.

Para realizar el procedimiento de campo, se siguen los siguientes pasos:

1. Realizar un croquis de la intersección e identificar el número de carriles, presencia de estacionamiento, líneas de buses, giros permitidos, estime o mida los anchos de carril.
2. Establecer el comportamiento de los carriles y determine grupos de carriles si fuese el caso.
3. Registrar el día y hora de la medición, seleccione un carril para realizar la medición.
4. Distinguir el último vehículo haciendo fila, esto deberá ser indicado a la persona que cronometra el tiempo.
5. Iniciar el cronómetro cuando empiece la fase de verde, contar en voz alta cada vehículo que pasa la línea de pare en el carril (cuando el eje delantero cruce la línea). Registrar el tiempo del 4to, 10mo y último vehículo que se encontraba en la fila, o el último vehículo que alcance cruzar la línea antes del rojo del semáforo. Cuando se presenta el caso de que existen muchos vehículos, se debe ir registrando el tiempo del 5to, 10mo, 15vo vehículo y así sucesivamente como se manifestó anteriormente hasta el último vehículo que alcance cruzar la línea antes del rojo del semáforo.

6. Realizar estas mediciones por lo menos durante 8 ciclos del semáforo, para realizar la medición se recomienda que al menos existan de 8 a 10 vehículos en la fila.
7. Una vez realizadas las mediciones se calcula el Intervalo promedio como la diferencia de tiempo entre el vehículo n (último vehículo medido) y el 4to vehículo, sobre n-4. Donde n es el número de vehículos que pasaron.

$$\bar{h} = \frac{t_n - t_4}{n - 4}$$

ECUACIÓN No. 15: Medición del Tiempo del 4to Vehículo.

8. El flujo de saturación se obtiene dividiendo 3.600 para el intervalo promedio para cada una de las mediciones, si alguna de las mediciones presenta valores muy distinto a las demás, deberá desecharse. Flujo de saturación bajo condiciones prevalecientes es igual a 3.600 sobre el intervalo promedio h.
9. Adicionalmente deberá registrar el número de vehículos que pasan por la intersección durante la hora en períodos de 15 minutos, clasificándolos en vehículos livianos, camiones y buses (para poder hacer la conversión a vehículos livianos), y registrando los vehículos que giran izquierda, derecha o siguen recto. (este trabajo deberá realizarlo en otro día o en otra hora).
10. En el caso de que la aproximación seleccionada dentro de la intersección tenga más de un carril, la medición deberá realizarse para cada uno de los carriles. El

flujo de saturación será la suma de los flujos de saturación individuales de cada uno de los carriles dentro del grupo.

11. A criterio del profesional, si este determina que algunos carriles o grupos tienen el mismo comportamiento que otros que ya fueron medidos, se podrá optar por no realizar la medición en los mismos.
12. Deberá registrar el ciclo total del semáforo, el cual corresponde al tiempo que transcurre entre un inicio del verde y el siguiente inicio (o inicio de rojo hasta el siguiente inicio de rojo). Para esto se puede realizar 2 o tres mediciones con cronometro para evitar errores. Así mismo se deberá determinar la duración del verde para la aproximación.
13. Determine las fases del semáforo, y sus respectivos tiempos, compruebe los datos obtenidos vs el ciclo total del semáforo, realice un diagrama de las mismas.

NOTA: Para realizar este trabajo se necesita un equipo de no menos de tres personas. Se deben tomar las suficientes medidas de precaución con el tráfico, usar ropa de colores llamativos y permanecer en lugares protegidos contra el tráfico.

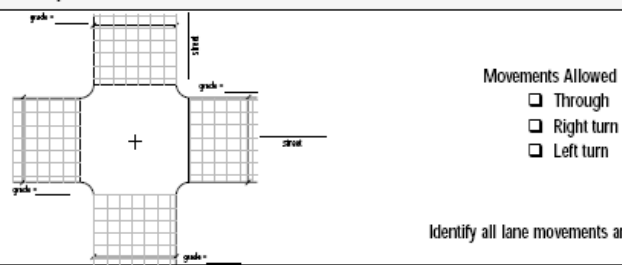
FIELD SATURATION FLOW RATE STUDY WORKSHEET																		
General Information								Site Information										
Analyst _____								Intersection _____										
Agency or Company _____								Area Type <input type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other										
Date Performed _____								Jurisdiction _____										
Analysis Time Period _____								Analysis Year _____										
Lane Movement Input																		
 <p style="text-align: right;">Movements Allowed <input type="checkbox"/> Through <input type="checkbox"/> Right turn <input type="checkbox"/> Left turn</p> <p style="text-align: center;">Identify all lane movements and the lane studied</p>																		
Input Field Measurement																		
Veh. in queue	Cycle 1			Cycle 2			Cycle 3			Cycle 4			Cycle 5			Cycle 6		
	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T	Time	HV	T
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
End of saturation																		
End of green																		
No. veh. > 20																		
No. veh. on yellow																		
Glossary and Notes																		
HV = Heavy vehicles (vehicles with more than 4 tires on pavement) T = Turning vehicles (L = Left, R = Right) Pedestrians and buses that block vehicles should be noted with the time that they block traffic, for example, P12 = Pedestrians blocked traffic for 12 s B15 = Bus blocked traffic for 15 s																		

ILUSTRACIÓN No. 2: Hoja de flujo de saturación en campo.

FUENTE: TRB, HCM 2000.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACION EN CAMPO

SENTIDO:

N. de Vehículos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8
	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Intervalo Ciclo 1	Intervalo Ciclo 2	Intervalo Ciclo 3	Intervalo Ciclo 4	Intervalo Ciclo 5	Intervalo Ciclo 6	Intervalo Ciclo 7	Intervalo Ciclo 8	Intervalo Promedio	Flujo de Saturación
Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh	Seg/veh

ILUSTRACIÓN No. 3: Hoja de flujo de saturación en campo.

FUENTE: El Autor.

2.5.6.2 Determinación de la tasa de flujo de saturación

Flujo de saturación: La *tasa de flujo de saturación* se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso el grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevaecientes del tránsito y de la vía, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo (esto es, $g/C = 1.0$).

Las condiciones prevalecientes del tránsito incluye los volúmenes por tipo de movimiento (izquierda, directo, derecha), su composición vehicular (automóviles, autobuses, camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas.

Las condiciones prevalecientes de la calle describen las características geométricas de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento. Las condiciones prevalecientes del semáforo incluyen la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

Es necesario convertir los volúmenes horarios a tasas de flujo durante 15 minutos a través del factor de la hora de máxima demanda, así:

$$V_p = \frac{V}{FHMD}$$

ECUACIÓN No. 16: Tasa de Flujo de Saturación.

Donde:

- V_p = tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados (vehículos/h)
- V = volumen horario (vehículos/h)
- FHMD = factor de la hora máxima demanda.

Debido a que no todos los movimientos en la intersección tienen el volumen máximo durante el mismo intervalo 15 minutos, es aconsejable observar directamente los flujos

en cada 15 minutos y seleccionar un periodo crítico de análisis. Se tiene un criterio conservador, si se usan diferentes periodos máximos.

2.5.6.3 **Determinación del flujo de saturación por el método HCM.**

Existe un método del HCM 2000 (Highway Capacity Manual), para determinar el flujo de saturación, el cual es desarrollado se describe a continuación:

Es un método de cálculo empírico, el cual permite determinar el flujo de saturación en función de ciertas características de la intersección (grupo de carriles).

El flujo de saturación se expresa en vehículos por hora de luz verde, y puede determinarse mediante estudios de campo o calcularse con la siguiente expresión:

$$S = S_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

ECUACIÓN No. 17: Determinación del Flujo de Saturación por el Método HCM.

En este caso se encuentra en función de una serie de valores, los cuales tienen su forma específica de ser determinados. Por lo tanto la saturación es igual a la saturación base (S_0), esto por el número de carriles, y todo esto multiplicado por una serie de factores que permiten determinar la saturación de acuerdo a las condiciones prevaletientes.

Donde:

S_i = flujo de saturación ajustado para el grupo de carriles veh/h.

S_o = flujo de saturación base por carril 1900 (veh/hora/carril), según el HCM 2000. Lo que significa que bajo condiciones ideales, es decir se tiene la geometría adecuada, no existe presencia de vehículos pesados, no hay giros, no está en una zona céntrica, no existen estacionamientos, etc.).

N = número de carriles del grupo de carriles.

f = Factores de ajuste.

2.5.6.3.1 Factores de ajuste.

f_w = **factor de ajuste por ancho de carriles**. Un carril estándar es de 3.60 metros, cualquier carril con un ancho menor al ancho estándar va a producir un factor menor que 1. Este factor depende de la geometría existente.

f_{HV} = **factor de ajuste o equivalencia por vehículos pesados**. Un vehículo pesado tiene un intervalo mayor, y por lo tanto un flujo menor. Es uno de los factores más significativos.

f_g = **factor de ajuste por pendiente o gradiente del acceso**. Depende de la gradiente de las vías que al cruzarse forman la intersección.

f_p = **factor de ajuste por maniobras de estacionamiento o parqueo adyacente al grupo de carriles**. Cada evento de estacionamiento genera dos maniobras de parqueo (una al estacionarse y la otra al partir), dependiendo si es que el parqueo tenga un nivel alto de rotación. Existen valores típicos recomendados del número de maniobras

según el tipo de vía, cuando se trata de un solo carril éste está entre 16 y 32, y cuando se trata de dos carriles se encuentra entre 8 y 16. Se considera hasta los 50 metros de la línea de pare.

f_{bb} = factor de ajuste por bloqueo de buses. Que paran en el área de la intersección. Se considera hasta 75 metros antes o después de la línea de pare.

f_a = factor de ajuste por tipo de área o ubicación.

f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carriles, está en función de cuanto es utilizado el carril que está dentro del grupo, ya que no todo el tráfico se distribuye por igual en cada uno de los carriles, es decir no tienen una distribución uniforme.

f_{LT} = Factor de ajuste por giros a la izquierda. En caso de contar con grupos que tengan giros compartidos. Es el más complejo de todos, existiendo una metodología específica para la determinación de este factor en el anexo de Capítulo XVI del HCM.

f_{RT} = factor de ajuste por giros a la derecha.

f_{Lpb} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda (apéndice D Cap. XVI). Aplicable en sitios en los cuales los peatones tienen preferencia.

f_{Rpb} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha.

En la tabla N. 3 Se presenta las expresiones para calcular los diferentes factores de ajuste.

FACTOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE VARIABLES	NOTAS																												
Ancho de carril	$f_w = 1 + \frac{W-3.6}{9}$	W = ancho de carril (m)	$W \geq 2,4$ m Si $W \geq 4,8$ m, analizar como dos carriles																												
Vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% HV (E_T - 1)}$	%HV = porcentaje de vehículos pesados del grupo.	$E_T = 2 - 2,5$ autos/pesado																												
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G = porcentaje de pendiente del acceso.	$-6 \leq \%G \leq + 10$ Negativa en descenso																												
Estacionamiento	$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18 N_m}{3600}}{N}$	N = número de carriles del grupo. N_m = número de maniobras de estacionamiento.	$0 \leq N_m \leq 180$ $f_p \geq 0,050$ $f_p = 1.000$ para sin estacionamiento.																												
Bloqueo de Buses	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4 N_B}{3600}}{N}$	N = número de carriles del grupo. N_B = número de buses que paran por hora.	$0 \leq N_B \leq 250$ $F_{bb} \geq 0,050$																												
Tipo de Área	$f_a = 0,900$ en CBD zonas centrales $f_a = 1.000$ en otras áreas.	CBD = Distrito Central de Negocios (centro de la ciudad).																													
Utilización de Carriles	$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1} N}$	V_g = tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril (veh/h). V_{g1} = tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo. N = número de carriles del grupo.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MOVIMIENTOS</th> <th>N</th> <th>% vg1</th> <th>Flu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Directos o Compartidos</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>52.5</td> <td>0.952</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>36.7</td> <td>0.908</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Giro Izquierdo Exclusivo</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>51.5</td> <td>0.971</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Giro Derecho exclusivo</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>56.5</td> <td>0.885</td> </tr> </tbody> </table>	MOVIMIENTOS	N	% vg1	Flu	Directos o Compartidos	1	100	1	2	52.5	0.952	3	36.7	0.908	Giro Izquierdo Exclusivo	1	100	1	2	51.5	0.971	Giro Derecho exclusivo	1	100	1	2	56.5	0.885
MOVIMIENTOS	N	% vg1	Flu																												
Directos o Compartidos	1	100	1																												
	2	52.5	0.952																												
	3	36.7	0.908																												
Giro Izquierdo Exclusivo	1	100	1																												
	2	51.5	0.971																												
Giro Derecho exclusivo	1	100	1																												
	2	56.5	0.885																												
Vueltas a la Izquierda	Fase Protegida: Carril Exclusivo : $f_{LT} = 0,95$ Carril Compartido: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05 P_{LT}}$ Ajuste por giros izquierdos (método simplificado giros no protegidos) $F_E = \frac{1800}{1400 - V_0}$ $f_{LT} = \frac{1}{1 + P_{LT}(F_E - 1)}$	P_{LT} = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles. V_0 = Flujo opuesto	Carril compartido, exclusivo, giros permitidos, procedimiento especial anexo c16-1 HCM Ajuste por giros izquierdos (método simplificado giros no protegidos) Asumir cada vehículo giro a la izquierda igual a $FE = 1.75$ vehículos ó Calcularlo en función del flujo opuesto																												
Vueltas a la Derecha	Carril Exclusivo: $f_{RT} = 0,85$ Carril Compartido : $f_{RT} = 1.0 - 0.15 P_{RT}$ Carril Simple:	P_{RT} = proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles.	$f_{RT} \geq 0.050$																												

	$f_{RT} = 1.0 - 0.135 P_{RT}$		
Bloqueo por Peatonales y Bicicletas	<p>Ajuste: LT</p> $f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT} (1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA})$ <p>Ajuste: RT</p> $F_{Rpb} = 1.0 - P_{RT} (1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$	<p>P_{LTA} = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles.</p> <p>A_{pbT} = ajuste a la fase permitida.</p> <p>P_{LTA} = proporción de vueltas a la izquierda que usan la fase protegida</p> <p>P_{RTA} = proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles.</p> <p>P_{RTA} = proporción de vueltas a la derecha que usan la fase protegida</p>	<p>Refiérase al Apéndice D del capítulo 16 del HCM 2000 para el cálculo paso a paso de los factores de ajuste.</p>

TABLA No. 3: Factores de Ajuste a la Tasa de Flujo de Saturación.

FUENTE: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000.

En el capítulo 10 del HCM, se encuentra cada uno de éstos parámetros, descritos de una manera técnica, con sus respectivos rangos o con sus valores por defecto debido a que en muchas ocasiones en las cuales se están desarrollando los análisis, no se cuenta con todos los datos. Son valores recomendados de acuerdo a ciertas condiciones.

Cuando se ha determinado el flujo de saturación ya sea en campo o por medio de éstos parámetros, lo primero que se tiene que hacer para diseñar la intersección, es determinar cuál es el movimiento o grupo crítico, básicamente estos grupos de carriles van a determinar el tiempo de verde de cada fase y el tiempo del ciclo.

2.5.7 Análisis de Capacidad

2.5.7.1 Determinación del movimiento (grupo) crítico

- Un grupo de carriles será el que regule el tiempo de verde de la fase.
- Mayor razón de flujo.

$$Y_i = v/s$$

ECUACIÓN No. 18: Razón de Flujo.

Donde:

- Y_i = razón de flujo.
- V = volumen veh./h.
- S = flujo saturación veh./h.

Mientras mayor sea la razón de flujo, más congestionada esta, por lo tanto Y crítico siempre será el máximo valor de Y_i .

2.5.7.2 Determinación del ciclo del semáforo

2.5.7.2.1 Tiempo entreverde.

Cuando una intersección tiene dimensiones no convencionales, es decir cuando las dimensiones son grandes es necesario calcular el tiempo de entreverde, el que se encuentra en función del tiempo de ámbar y de todo rojo respectivamente, más un

tiempo de percepción, por lo tanto está en función de la velocidad de los vehículos que circulan por la intersección, del ancho de la misma y la longitud de vía.

Básicamente lo que se determina es el tiempo necesario para que la intersección quede libre de vehículos. Normalmente en la mayoría de intersecciones se utiliza un tiempo de entreverde de alrededor de *tres (3) segundos*, pero cuando las intersecciones son grandes, se debe realizar éste cálculo para evitar que los vehículos se detengan en la mitad del cruce.

$$t_{ev} = T + \underbrace{\left(\frac{V}{2a+2Gg} \right)}_{\text{Ámbar}} + \underbrace{\frac{w+1}{V}}_{\text{Todo Rojo}}$$

ECUACIÓN No. 19: Tiempo Entre Verde.

Donde:

- T = tiempo de percepción-reacción 1s. (esperado).
- V = velocidad del vehículo kph.
- A = desaceleración 3.05 m/s².
- G = gradiente (%).
- G = gravedad 9.8 m/s².
- W = ancho intersección m.
- l = longitud de un vehículo 6.10 m.

2.5.7.2.2 *Tiempo perdido total*

La pérdida total por ciclo es igual a la suma de todos los tiempos de ámbar + suma todos tiempos de rojos. Se sume que las ganancias finales son iguales a las pérdidas iniciales, a menos que se disponga de un estudio específico para este caso. Por lo tanto el tiempo perdido en la intersección va a ser igual al tiempo de entreverde, sumado por el número de cada fase. En el caso de tener tres aproximaciones y que el tiempo de entreverde sea de 3 segundos, entonces el tiempo perdido total de la intersección será de 9 segundos. Lo cual se traduce en que durante 9 segundos en el ciclo la intersección no va a ser utilizada.

$$L = \sum_{i=1}^{\phi} (Li)$$

$$Li = t_{ev} + ee' - ff'$$

ECUACIÓN No. 20: Tiempo Perdido Total.

2.5.7.2.3 *Cálculo del tiempo de ciclo óptimo.*

Ciclo óptimo es aquel, en el cual se tienen las demoras mínimas en la intersección. Webster, miembro del The Transport and Road Research Laboratory ó TRRL (Laboratorio de Investigación del Transporte y Carreteras) de Inglaterra, determinó en base a observaciones de campo en varias intersecciones, que una aproximación a la longitud de ciclo óptimo en función del tiempo perdido y las razones máximas de flujo en cada intersección se puede determinar con la ecuación:

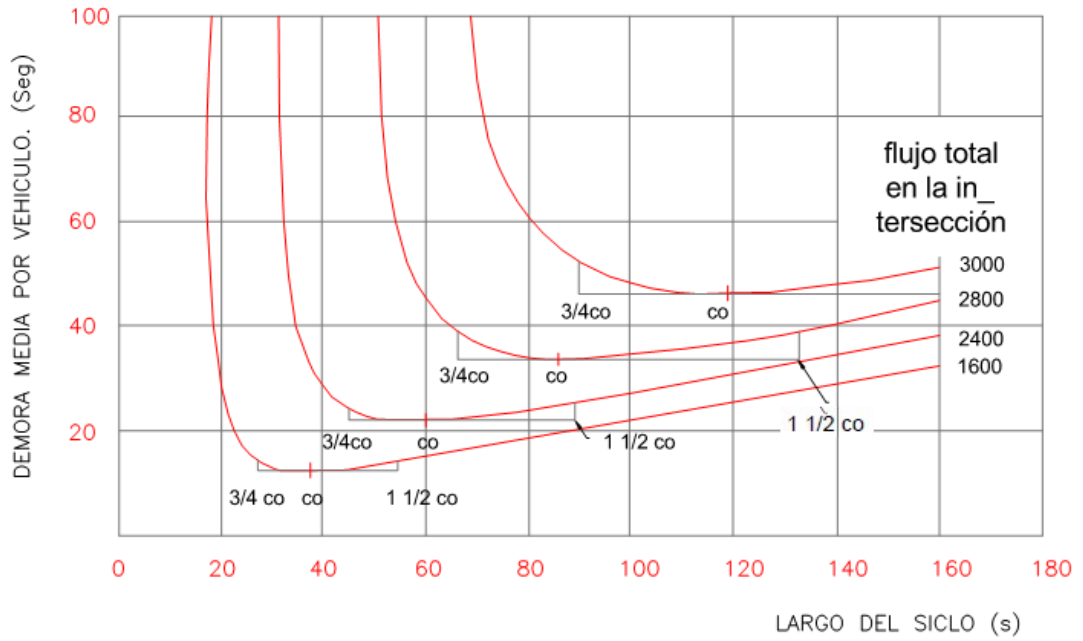


FIGURA No. 11: Cálculo del Tiempo de Ciclo Óptimo.

FUENTE: TRL

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

ECUACIÓN No. 21: Cálculo del Tiempo de Ciclo Óptimo.

Donde:

- L=tiempo perdido total en el ciclo.
- Yi= máxima razón de flujo para cada fase.

2.5.7.2.4 Cálculo de los tiempos de verde. Método Webster

Una vez obtenido el tiempo de ciclo óptimo, se debe determinar cuál es el tiempo de verde de cada una de las fases. La demora mínima a todo tráfico en una intersección, se produce cuando las relaciones de verdes entre dos fases son igual a la relación entre sus razones de flujo, para lo cual se utiliza la ecuación:

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{y_1}{y_2} \dots \dots \dots$$

ECUACIÓN No. 22: Demora Mínima a Todo el Tráfico.

Para dos brazos de una misma fase con diferentes razones de flujo la demora mínima se obtiene con la proporción de los y_i críticos sobre el total de y_i .

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^{\phi} y_i} (C_o - L)$$

ECUACIÓN No. 23: Cálculo del Verde Efectivo.

Donde:

- g_i = verde efectivo.

Básicamente todo este proceso constituye el diseño de una intersección semafórica, el mismo que constituye una secuencia. Se deben disponer de los flujos, luego se agrupan los carriles, se debe determinan razones de flujo. Con las razones de flujo y el numero de fases se determina el tiempo perdido; con éste se determina el ciclo óptimo

del semáforo y finalmente reparto el verde entre cada una de las fases; y el resultado final se expresa más fácilmente a través de un gráfico de diagrama barras.

Mientras que el método de Webster consiste en determinar el ciclo que minimice las demoras de los usuarios, cuando se realizan diseños con la ayuda de un software, éste permite encontrar los ciclos óptimos basados en otros parámetros como puede ser la necesidad de minimizar el consumo total de combustibles, que a su vez minimizan la contaminación en la zona. Otro parámetro que puede ser utilizado es el minimizar las colas.

2.5.7.2.5 Casos especiales

2.5.7.2.5.1 Viraje adelantado ó retrasado

Se utiliza cuando el volumen de giros izquierdos no justifica una provisión de una fase exclusiva para los giros, pero estos tienen dificultad de completar el movimiento.

El resto del tiempo el giro es permitido, debe haber suficiente espacio para que esperen en la intersección.

2.5.7.2.5.2 Viraje adelantado:

Viraje adelantado, quiere decir que inicialmente se permite todos los movimientos hacia delante incluyendo el giro izquierdo, pero antes que termine la fase se corta el giro izquierdo y se permite que los vehículos que vienen es sentido contrario crucen, quedando permitido el giro izquierdo siempre y cuando exista la brecha adecuada para poder girar.

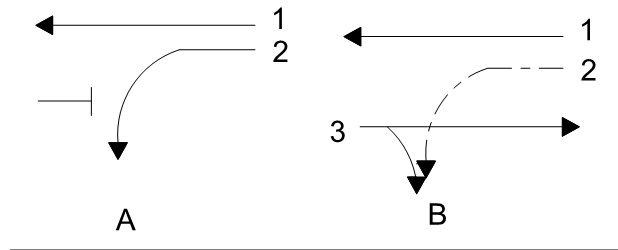


FIGURA No. 12: Esquema de Viraje Adelantado.

FUENTE: El Autor.

2.5.7.2.5.3 Viraje retrasado:

Viraje retrasado es lo contrario al viraje adelantado, es decir que inicialmente se permite todos los movimientos de ambos sentidos, pero antes que termine la fase se corta el flujo del un sentido y se permite el giro izquierdo.

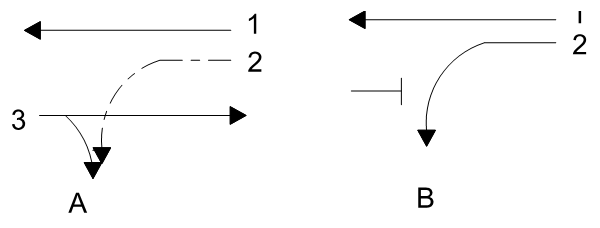


FIGURA No. 13: Esquema de Viraje Retrasado.

FUENTE: El Autor.

Tanto el viraje adelantado como retrasado es un esquema de semáforos que se utiliza mucho especialmente cuando hay giro izquierdo en una de las aproximaciones.

2.5.7.2.6 Flujo de saturación cae durante el período de análisis

Existen casos específicos durante los cuales, el flujo de saturación cae durante el período de análisis, y puede ocurrir en uno de los siguientes casos:

Carriles cortos: Cuando se tiene una bahía de vehículos, en la cual están acumulados un cierto número de vehículos, pero es un carril que solamente abarca a un número muy reducido de los mismos, es decir trabaja como un carril corto, por lo tanto cuando el verde está presente, solamente giran los escasos vehículos que estaban dentro de la bahía.

Bloqueo de carriles: La otra posibilidad sucede cuando ocurre un bloqueo de carriles, especialmente por paradas de transporte.

Bloqueo por giros permitidos compartidos: Ocurre cuando se comparte un mismo carril para dos giros, como ocurre cuando los vehículos que circulan quieren realizar un giro izquierdo, tienen que detenerse hasta encontrar la brecha adecuada, mientras tanto, bloquearon el carril a los demás vehículos.

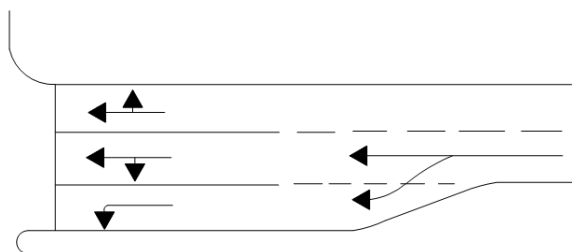


FIGURA No. 14: Carriles Cortos.

FUENTE: El Autor.

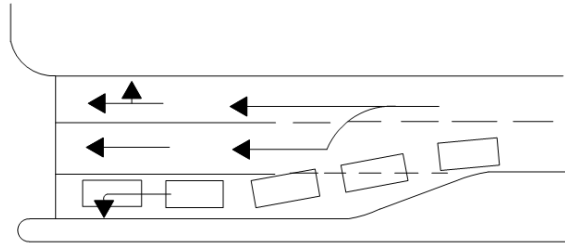


FIGURA No. 15: Bloqueo de Carriles.

FUENTE: El Autor.

Para analizar un carril corto, se debe calcular la longitud efectiva de la bahía de giro. Primero se determina la tasa de flujo del carril con viraje (D), sobre la tasa de flujo del carril principal, por la longitud real del mismo (R).

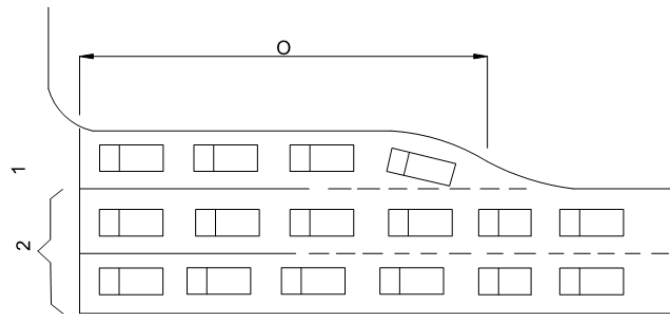


FIGURA No. 16: Bloqueo por giros permitidos compartidos.

FUENTE: El Autor.

$$n = \frac{D}{R}$$

$$R = 6 * P_e + 12P_p$$

ECUACIÓN No. 24: Número de Vehículos que pueden Acumularse – Largo Promedio Ocupado por un Vehículo.

$$D = (q_1/q_2)D'$$

ECUACIÓN No. 25: Longitud Efectiva del Carril.

Donde:

- N= número de vehículos que pueden acumularse.
- R = Largo promedio ocupado por un vehículo.
- Pe = proporción livianos.
- P_p=proporción pesados.
- S_{corto}= aporte al flujo de saturación.
- g = tiempo de verde efectivo.
- D = long. Efectiva del carril.
- D' = long. real del carril corto.
- q₁ = tasa de flujo carril con viraje.
- q₂ = tasa de flujo del carril principal.

2.5.7.3 ***Determinación de la capacidad por grupo desde carriles.***

2.5.7.3.1 *Capacidad*

Cuando se analiza intersecciones se necesita determinar alguna medida de desempeño, que permita comparar ya sea con otro tipo de intersección o con la misma pero optimizada. Uno de los primeros parámetros que se analiza es el de la capacidad, ya que éste es uno de los más fáciles de calcular, ya que es igual al flujo de saturación

en el carril o grupo de carriles, multiplicado por el verde efectivo y dividido para el tiempo del ciclo del semáforo.

La capacidad en una intersección con control con semáforos se define para cada acceso o grupo de carriles, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la vía y del semáforo. Por lo tanto la capacidad para cada grupo de carriles se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_i = S_i \frac{g_i}{C}$$

ECUACIÓN No. 26: Capacidad.

Donde:

- C_i = capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h).
- S_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde).
- g_i = tiempo verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes).
- C = ciclo del semáforo (tiempo en segundos).
- g_i / C = relación de verde efectivo para el grupo de carriles i .

La diferencia con el flujo de saturación consiste en que si bien el flujo de saturación es el máximo número de vehículos que pueden pasar mientras tengan la señal de verde a su favor, la capacidad es el máximo número de vehículos que pueden pasar por una unidad de tiempo. Por lo tanto se considera los tiempos que tiene a su favor, si se tiene el 50% del tiempo de verde, entonces la capacidad será igual al 50% del flujo de saturación.

2.5.7.4 Relación volumen a capacidad

Si se cuenta con el valor de la capacidad y además el total de vehículos contabilizados, entonces puedo establecer relaciones como la de volumen / capacidad. Que me da una idea de cuan saturada se encuentra la intersección.

El volumen (contabilizado) es el total de vehículos que están pasando, mientras que la capacidad (parámetro teórico), es el máximo volumen de vehículos que podrían pasar por la intersección. A ésta relación se la conoce como *Grado de saturación*.

La relación volumen a capacidad, típicamente llamada grado de saturación, y simbolizada con la letra X, se calcula como:

$$X_i = \frac{v_i}{c_i}$$

ECUACIÓN No. 27: Relación Volumen a Capacidad.

Donde:

- v = volumen en el grupo i . Donde V_i es la tasa de flujo de demanda actual o proyectada del grupo de carriles i .
- c = capacidad en el grupo i .

Reemplazando la capacidad dada por la ecuación anterior, se obtiene:

$$X_i = \frac{V_i}{S_i \left(\frac{g_i}{c} \right)} = \frac{\left(\frac{V}{S} \right)_i}{\left(\frac{g_i}{c} \right)}$$

ECUACIÓN No. 28: Relación Volumen a Capacidad.

En esta última expresión al cociente $(V/S)_i$, se le denomina relación de flujo. Obsérvese que cuando la tasa de flujo V_i es igual a la capacidad C_i el grado de saturación X_i es igual a 1.00, y cuando la tasa de flujo V_i es cero, X_i es igual a cero. Valores de X_i superiores a 1.00, indican en exceso de demanda sobre la capacidad.

2.5.7.5 **Grado de saturación crítico para la intersección**

Para evaluar globalmente la intersección, con respecto a su geometría y al ciclo se utiliza el concepto de grado de saturación crítico de la intersección X_c . Considerando solamente los accesos o grupos de carriles críticos, definidos como aquellos que tienen la relación de flujo más alta para cada fase $(v/s)_{ci}$. Se define como:

$$X_c = \sum_{i=1}^{\phi} \left(\frac{V_i}{S_i} \right) \times \frac{C}{C - L}$$

ECUACIÓN No. 29: Grado de Saturación Crítico para la Intersección.

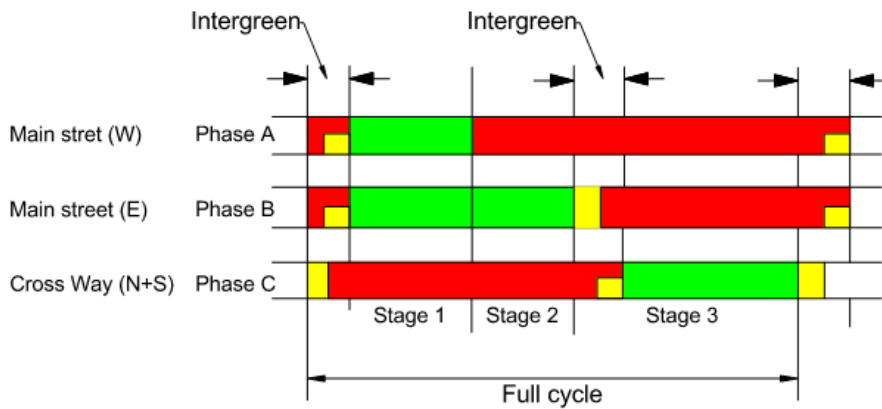
Donde:

- v = volumen en el grupo i .
- s = flujo saturación en el grupo i .
- X_c = relación volumen a capacidad crítica de la intersección.
- C = ciclo del semáforo (s).
- L = tiempo total perdido por ciclo (s).
- $\sum \left(\frac{V}{S} \right)_{ci}$ = Sum. de relaciones de flujo de todos los grupos de carriles críticos i .

2.5.7.6 **Diagrama de Fases:**

Es la representación gráfica en forma de barras de las distintas fases de un semáforo, donde se indican los tiempos de cada uno de los ciclos, detallándose la duración de cada uno de ellas.

Phasing diagram



Staging diagram

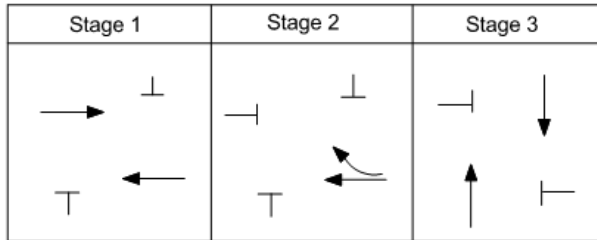


FIGURA No. 17: Diagrama final de fases de un semáforo.

FUENTE: El Autor.

2.5.8 Peatones

2.5.8.1 Antecedentes

Según Eduardo Vasconcellos en su obra *Urban Transport in Latin América*, el 43.5% de los viajes con una distancia menor a 1.5 Km en zonas urbanas de Sudamérica se realizan caminando, en comparación con el Reino Unido (UK), en donde este porcentaje llega al 60%. En algún momento de la jornada todas las personas se convierten en peatones, a menos que se disponga de un garaje a la puerta del dormitorio y otro a la puerta de la oficina. Por más que se disponga de un vehículo propio, en algún instante se tendrá que caminar y cruzar una vía es decir en algún tramo del recorrido se lo realizará en calidad de peatón.

La naturaleza y dimensión del flujo peatonal debe ser tomado en cuenta al igual que el flujo vehicular. Si los peatones también son usuarios de las intersecciones, deben ser considerados, ya que en las mismas no solo se encuentran vehículos. Si se trata de optimizar la intersección para que existe una demora mínima para los vehículos, entonces la demora para los peatones también debe ser aceptable. Por lo que no se debe diseñar para que los vehículos tengan demoras mínimas y que los peatones permanezcan tiempos prolongados esperando para cruzar la vía. De lo anteriormente descrito, podemos afirmar que los peatones se convierten en un componente muy importante.

2.5.8.2 **Estrategias**

Existe varias estrategias que se utilizan para manejar a los peatones, la primera es la creación de senderos que no son más que caminos propios para los usuarios. Cuando existen conflictos entre peatones y vehículos, se recomienda el uso de vallas para canalizar el flujo peatonal. Adicional a esto se utilizan refugios, los cuales permiten el cruce de una vía a la vez. En los países europeos por lo general siempre se construyen estos refugios. Las dimensiones que debe tener un refugio es 1.80 metros de ancho, y deben estar a nivel de la calzada, especialmente por el uso de personas con movilidad limitada, por lo general deben tener iluminación para facilitar su visibilidad.

Otro tipo de estrategia son los cruces formales como por ejemplo el escolar asistido; en el cuál existen personas que ayudan a detener el tráfico vehicular para que los peatones puedan cruzar la vía, también la utilización de los pasos cebra, en el cual el peatón tiene siempre la preferencia. Los pasos tipo Pelican (UK), es un paso semafórico pero tiene un sistema de detención para peatones, y se activa solamente ante la presencia de éstos.

Adicionalmente los cruces formales se pueden implementar en intersecciones semafóricas, como parte del sistema de fases o como fases exclusivas para peatones. Cuando se trata de pasos cebra como se mencionó anteriormente el peatón tiene derecho de paso, pero no se recomienda cuando el volumen de tráfico es alto y rápido. Debido a que los peatones pueden ser expuestos a potenciales peligros y a su vez éstos pueden causar demoras excesivas en el tráfico.

Los pasos tipo Pelican se utilizan cuando el cruce se encuentra muy alejado de la intersección más cercana, son básicamente pasos que se utilizan en media vía; éstos son bajo demanda, es decir son conectados al controlador de la intersección o a un sistema centralizado que se activa únicamente cuando existe la presencia del peatón, pudiendo ser activados presionando un botón u otros más modernos que mediante sensores detectan la presencia de peatones (PUFFIN, detecta la presencia del peatón por el peso).

2.5.8.2.1 En intersecciones semafóricas

Así no exista señales específicas para peatones, provee una cierta ayuda, pero es necesario ubicar refugios, debido a que son indispensables para poder atravesar vías de varios carriles; si la vía tiene un parterre central, éste suele ser usado como refugio.

Adicionalmente existen fases solo para peatones, durante la cual todo el tráfico se detiene, como se puede ver en el siguiente grafico la fase 2 es solo para peatones, tiempo durante el cual todo el tráfico está detenido. Pero puede causar demoras excesivas y debería activarse solo bajo demanda.

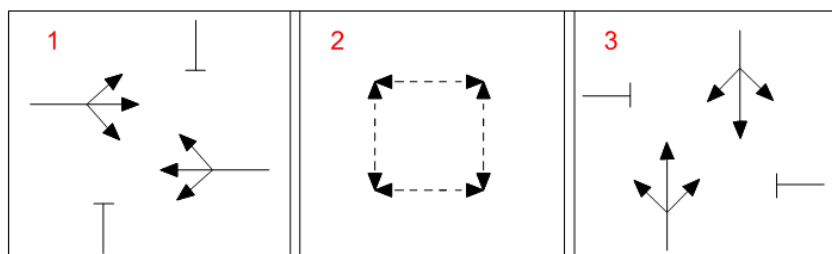


FIGURA No. 18: Secuencia de fases vehiculares y peatonales.

FUENTE: El Autor.

En intersecciones semafóricas se pueden utilizar fases paralelas, en lugar de proveer una fase exclusiva para peatones, se provee fases de cruce de acuerdo a las fases de los vehículos, evitando conflictos entre ellos.

Existen además las fases paralelas, en las cuales se prohíben ciertos giros, mientras se da el derecho de cruce a los peatones simultáneamente con una fase específica.

El cruce escalonado se utiliza para cruces en vías anchas, cuando existen muchos carriles, se permite el cruce hasta la mitad (isla, refugio o parterre central), luego se los detiene y posteriormente se les permite completar el recorrido, es decir el cruce se realiza en dos o más etapas, dependiendo del número de carriles a atravesar.

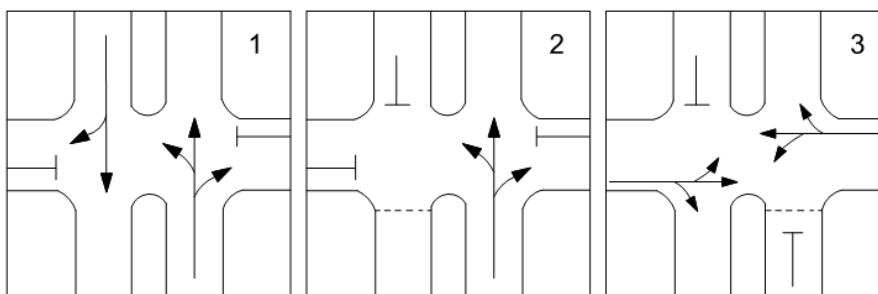


FIGURA No. 19: Secuencia de fases Cruce escalonado.

FUENTE: El Autor.

Cuando se utilizan botones para llamar la fase, estos se deben ubicar uno a cada lado del cruce y cuando existen refugios intermedios, se debe colocar uno adicional en ellos para que puedan ser accionados cuando se los requiera.

Es necesario adicionar a los cruces señales auditivas para el uso de personas no videntes. Para instalar una señal auditiva se debe tener un criterio técnico para identificar la demanda, la seguridad y los riesgos potenciales. Si la señal auditiva esta activada, se debe garantizar al peatón que todo el tráfico está detenido ya que una persona no vidente esta confiada de que ningún vehículo cruzará la vía. La ubicación del pitido es un factor muy importante ya que de ello depende que una persona cruce en un sentido o en otro.

Las vallas peatonales restringen el cruce a solo ciertas aproximaciones, cuando se tiene intersecciones complejas, en las cuales por un sentido se disponen de protecciones y fases, se puede canalizar el flujo de peatones mediante vallas para que tomen este sentido, de tal forma que a ciertas partes de la intersección no ingresen peatones.

Otro uso que se les da a las vallas es para canalizar flujos en cruces escalonados, dándoles una ruta definida, en vías muy anchas. Cuando existen este tipo de vías no se recomienda el permitir el cruce de toda la vía en una misma fase a los peatones debido a que causaría demoras excesivas a los vehículos, y cuando se tienen cruces en vías de grandes velocidades, no se deberían colocar cruces a nivel. Por lo tanto, su correcto funcionamiento e implementación depende de las características de la vía y de un adecuado diseño y ubicación del paso a desnivel.

Los tiempos para peatones se calculan con un promedio de velocidad de circulación de 1.2 m/s., entonces una vez asignado el tiempo se necesita otro adicional por seguridad

(mínimo 5 segundos), el cual se utiliza para garantizar que todos los peatones atraviesen por completo la vía.

- Tiempo de verde = tiempo de cruce + 5s (mínimo 5s).

Adicionalmente se debe chequear los tiempos de verde de las fases para estimar si se puede realizar el cruce (en paralelo).

En este punto se debe realizar un diagrama de fases que ilustre gráficamente el plan. Considerando la longitud del ciclo, tiempo de verde e intervalos de cambio y despeje, para cada uno de los movimientos dados.

Si existen requerimientos de tiempo para los peatones, el tiempo mínimo de verde para una fase es:

$$G_p = 3,2 + \frac{L}{S_p} + \left(0,81 \frac{N_{ped}}{W_E}\right) \text{ para } W_E > 3.0 \text{ m}$$

ECUACIÓN No. 30: Tiempo Mínimo de Verde > 3.0 m

$$G_p = 3,2 + \frac{L}{S_p} + (0,27 N_{ped}) \text{ para } W_E \leq 3.0 \text{ m}$$

ECUACIÓN No. 31: Tiempo Mínimo de Verde \leq 3.0 m

Donde:

- G_p = tiempo mínimo de verde (s).
- L = longitud del cruce peatonal (m).
- S_p = velocidad media del peatón (1.2 m/s).

- W_E = ancho del cruce peatonal (m).
- N_{ped} = número de peatones que cruzan durante un intervalo (peatones).

2.5.9 Resultados y Medidas de Efectividad

2.5.9.1 Factor de Ajuste por Coordinación.

Una buena coordinación de semáforos dará como resultado una proporción alta de vehículos que llegan durante la fase de verde. La coordinación afecta principalmente a la demora uniforme, por lo que se realiza el ajuste sólo a d_1 , mediante la siguiente expresión:

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1-\frac{g}{C}}$$

ECUACIÓN No. 32: Factor de Ajuste por Coordinación.

Donde:

- P = proporción de vehículos que llegan en verde.
- g/C = proporción de tiempo verde disponible.
- f_{PA} = factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde.

Si se llevan a cabo mediciones de campo, P deberá determinarse como la proporción de los vehículos en el ciclo que llegan a la línea de pare o que se unen a la cola (estática o en movimiento) mientras se despliega la fase verde. El valor de P también se puede estimar como:

$$P = R_p \left(\frac{g}{C} \right)$$

ECUACIÓN No. 33: Proporción de Vehículos que Llegan en Verde.

Donde: R_p representa la relación de grupo de vehículos.

2.5.9.2 **Determinación de las Demoras**

Los valores derivados de los cálculos representan la demora media experimentada por todos los vehículos que llegan en el período de análisis (veh./seg.), incluida las demoras que ocurren antes de éste, cuando el grupo de carriles se sobresaturan. La demora por control incluye los movimientos a velocidades bajo las detenciones en los accesos a la intersección, cuando los vehículos disminuyen la velocidad corriente arriba o cambia de posición en la cola. La demora total por vehículo (para cada grupo), se calcula como:

$$d = d_1 (PF) + d_2 + d_3$$

ECUACIÓN No. 34: Demora Total por Vehículo.

Donde:

- d = demora media por control (s/veh).
- d_1 = demora uniforme (s/veh), suponiendo llegadas uniformes.
- PF = factor de ajuste por coordinación.
- Tiene en cuenta los efectos de la coordinación de los semáforos.

- d_2 = demora incremental (s/veh), que tiene en cuenta el efecto de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el periodo de análisis. (supone que no existe cola inicial al comienzo del periodo de análisis).
- d_3 = demora por cola inicial (s/veh), que tiene en cuenta las demoras de todos los vehículos debido a la presencia de colas iniciales antes del periodo de análisis.

La demora total por vehículo para cada grupo de carriles se calcula como la demora uniforme d_1 , que es la demora por los arribos, multiplicada por un factor de ajuste por tipo de progresión (PF), debido a que si se disponen de intersecciones bien coordinadas, básicamente los vehículos van a llegar idealmente justo antes que inicie o durante la fase de verde, es decir si se tiene una intersección junto a otra y los vehículos llegan durante la fase de rojo, entonces van a tener una demora adicional debido a que tendrían que esperar que termine el rojo y comience el verde para poder continuar. El factor de proyección depende de la coordinación que tengan los semáforos.

Básicamente la demora uniforme está en función del verde de ese grupo, del tiempo de ciclo, el grado de saturación y del factor de progresión. Esto permite determinar la demora para cada grupo de carriles, la misma que se expresa en segundos. En el HCM Capítulo 16, se puede encontrar con más detalle la forma de calcular la demora.

2.5.9.2.1 Demora Uniforme (d_1):

La demora uniforme d_1 es la que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, tal que no existe saturación durante ningún ciclo. Asume arribos uniformes, flujo estable, sin fila inicial y se determina mediante la siguiente expresión:

$$d_1 = \frac{0,5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]}$$

ECUACIÓN No. 35: Demora Uniforme (d_1).

$$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)}$$

ECUACIÓN No. 36: Ajuste Por tipo de Progresión (Dispersión).

Donde:

- d_1 : demora uniforme (s/veh).
- C: longitud del ciclo (s).
- g: verde efectivo para el grupo (s).
- X: grado de saturación para el grupo (%).
- PF: ajuste por tipo de progresión (dispersión).
- P: proporción de vehículos que arriban en verde.
- f_{pa} : ajuste adicional por pelotón arribando en verde.

Cuando no se disponen de algunos de los datos necesarios para poder calcular estos valores, en la mayoría de intersecciones se produce un arribo de tipo 3 (AT 3), en el cual los arribos son totalmente aleatorios. Esto sucede cuando no existe coordinación entre los semáforos, es decir que los vehículos no necesariamente llegan durante el verde o el rojo, sino que llegan de forma aleatoria, en cuyo caso el factor de ajuste va a ser 1, y por lo tanto el valor de la demora inicial sería directamente el valor obtenido de la fórmula anteriormente indicada para d_1 .

La siguiente tabla muestra los valores que puede tener PF:

EXHIBIT 16-12 PROGRESIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE PARA EL CÁLCULO DEL RETRASO UNIFORME.

Green Ratio (g/C)	Arrival Type (AT)					
	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
0,20	1,167	1,007	1.000	1.000	0,833	0,750
0,30	1,286	1,063	1.000	0,986	0,714	0,571
0,40	1,445	1,136	1.000	0,895	0,555	0,333
0,50	1,667	1,240	1.000	0,767	0,333	0,000
0,60	2,001	1,395	1.000	0,576	0,000	0,000
0,70	2,556	1,635	1.000	0,256	0,000	0,000
f_{PA}	1,00	0,93	1.00	1,15	1,00	1,00
Default, R_p	0,333	0,667	1.000	1,333	1,667	2,000

- AT1: >80% arriba al inicio rojo
- AT2: 40-80% arriban durante el rojo
- AT3: arribos aleatorios (intersección aislada)
- AT4: 40-80% arriba durante el verde
- AT5: >80% arriban al inicio del verde
- AT6: arribos ideales, calidad de progresión excepcional

TABLA No. 4: Factor de Ajuste de Progresión para Cálculo de Demora Uniforme.

FUENTE: TRB, HCM 2000.

Para un arribo tipo 6, que es excepcional, en el cual todas las intersecciones se encuentran coordinadas, el factor de proporción, va desde 0.75 hasta 0.00, la demora

puede ser cero, dependiendo de la relación del verde sobre el tiempo de ciclo. Lo que significaría que este factor va a reducir las demoras iniciales, básicamente lo que expresa es que si un vehículo llega durante la fase de verde, no va a tener ninguna demora o va a tener demora cero.

Cuando dos intersecciones se encuentran muy separadas (500 m.), entonces se consideran aisladas y en cuyo caso el factor sería igual a 1.

2.5.9.2.2 Demora Incremental (d_2):

La demora incremental d_2 , toma en consideración las llegadas aleatorias o no uniformes, que ocasiona que algunos ciclos se sobresaturen. Se expresa como:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right]$$

ECUACIÓN No. 37: Demora Incremental (d_2).

Donde:

- d_2 : demora incremental (s/veh.).
- C: capacidad del grupo.
- X: grado de saturación para el grupo.
- T: período de análisis (1 h.).
- I: filtro señales anteriores (1.0 para aisladas). Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba.

- K: factor que depende del tipo de controlador (0.5 para fijos). Factor de demora incremental.

2.5.9.2.3 Demora por Cola Inicial (d_3):

Toma en cuenta la cola residual de un ciclo anterior. Apéndice F capítulo 16 HCM. Los vehículos que arriban experimentan demoras hasta que se despeje la cola inicial, o si existe cola residual. Ocurre cuando no se ha podido descargar todos los vehículos que estaban en la intersección, por lo que esos vehículos deben esperar hasta el siguiente ciclo para poder continuar.

Cuando una cola residual o remanente existe antes del periodo de análisis T, los vehículos experimentan (los que llegan durante T) una demora adicional, debido a que la cola inicial deberá primero desalojar la intersección.

En los casos en que $X > 1.0$ para un periodo de 15 minutos, el siguiente periodo empieza con una cola inicial llamada Q_b en vehículos. Q_b se debe observar al inicio del rojo. Cuando $Q_b \neq 0$, los vehículos que llegan durante el periodo de análisis experimentarán una demora adicional por la presencia de la cola inicial. La demora por cola inicial d_3 , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_3 = \frac{1.800 Q_b(1+u)t}{cT}$$

ECUACIÓN No. 38: Demora por Cola Inicial (d_3).

Donde:

- Q_b = cola inicial al principio del periodo T (veh.).
- c = capacidad (veh./h).
- T = duración del periodo de análisis (0,25 h).
- t = duración de la demanda insatisfecha (h).
- u = parámetro de demora.

2.5.9.2.4 Demoras Agregadas

Una vez que se determinaron las demoras por grupos, se debe determinar las demoras ya en la aproximación; Esto ocurre cuando se dispone de más de un grupo, básicamente la demora es de tipo ponderada.

La demora en cualquier acceso, se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso, utilizando los flujos ajustados de los grupos de carriles, según:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i V_i)}{\sum_{i=1}^A V_i}$$

ECUACIÓN No. 39: Demora Agregadas.

Donde:

- A = número de grupos de carriles en el acceso A.
- d_A = demora en el acceso A (s/veh.).
- d_i = demora en el grupo de carriles i, en el acceso A (s/veh.).

- V_i = volumen ajustado del grupo de carriles i (veh./h).

La demora en la intersección (demora promedio de la intersección), igualmente se determina como un promedio ponderado de las demoras en todos los accesos de la intersección, según la siguiente ecuación:

$$d_i = \frac{\sum_{A=1}^I (d_A V_A)}{\sum_{A=1}^I V_A}$$

ECUACIÓN No. 40: Demora en la Intersección.

Donde:

- I = número de acceso de la intersección I .
- d_i = demora en la intersección I (s/veh.).
- d_A = demora en el acceso A (s/veh.).
- V_A = volumen ajustado del acceso A (veh./h).

Este valor obtenido, se puede comparar entre la situación actual y la situación diseñada de la intersección.

2.5.9.2.5 Demoras a peatones:

Las demoras de los peatones se calculan como el tiempo de rojo que tienen los peatones, sobre todo el tiempo del ciclo, multiplicado por el rojo de los peatones, y esto dividido para dos. Eso me da la demora en segundos por peatón.

$$d_p = \left(\frac{r_p}{c} \times \frac{r_p}{2} \right) = \frac{r_p^2}{2c}$$

ECUACIÓN No. 41: Demoras a Peatones.

Para calcular la demora total de los peatones, se debe multiplicar los flujos individuales por las demoras individuales de los peatones, se determina la sumatoria, y esto me da le total de la demoras en personas hora.

$$\sum q_p d_p$$

ECUACIÓN No. 42: Sumatoria de Demora y Flujo de Peatones.

Donde:

- R_p = rojo para peatones.
- C = longitud del ciclo.
- d_p = demora en s/peatones.
- q_p = flujo de peatones.
- d =Demora total en personas-hora.

Si se diseña una intersección de manera completa, se debe determinar la demora y la tasa de ocupación promedio de personas en los vehículos (1.2–1.5 per./veh.). Adicionalmente se puede calcular la demora en personas hora, las mismas que se encuentran en los vehículos y fuera de ellos (peatones), y de esta manera se puede determinar cuál es la demora total en la intersección. Cuál es el costo total para los

usuarios. Es decir si se desea realizar un análisis más detallado se debe considerar la demora adicional producida a las personas que están circulando a pie.

Una vez determinadas las demoras, y sabiendo cual es el costo productivo de las personas, se podría fácilmente determinar cuál es el costo total por demoras en la intersección, es decir estimar el valor del tiempo y determinar costos y beneficios. En este tipo de análisis, se debe distinguir las diferentes actividades que realizan las personas, como por ejemplo no es igual el tiempo de una persona que se está dirigiendo al trabajo con el de una persona que está en horario de trabajo. Por lo general para una persona que está en horario de trabajo, el valor del tiempo se calcula en base el salario mínimo unificado; y si se desea realizar un estudio más completo se pueden establecer costos para varias actividades de la población, incluyendo un valor del tiempo de ocio.

2.5.9.3 ***Niveles de servicio***

El nivel de servicio según el HCM se determina luego de obtener las demoras en la intersección. El nivel de servicio está directamente relacionado con la demora promedio por controles por vehículo. Una vez obtenida la demora para cada grupo de carriles para cada acceso y para la intersección como un todo, se determina los niveles de servicio, consultando la Tabla No. 5.

El nivel de servicio de una intersección con semáforo se define a través de las demoras, las cuales representan para el usuario una medida del tiempo perdido de viaje, del consumo de combustible, de la incomodidad y de la frustración.

Específicamente, el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo, debida a las detenciones para un período de análisis de 15 minutos.

El nivel de servicio se puede definir como el confort o la comodidad con que los conductores operan en una vía. La velocidad media describe el grado de movilidad, mientras que la relación volumen/capacidad permite vigilar la proximidad de congestión.

El estudio de la capacidad en intersecciones tiene como objetivo determinar la capacidad de los distintos movimientos que pueden efectuarse sobre ella, así como su interacción entre ellos.

Las intersecciones reguladas con semáforos son capaces de asignar diferentes espacios de tiempo a movimientos que entran en conflicto entre sí, liberando el espacio que pretenden usar ambos a la vez. La unidad básica de análisis en esta clase de cruces es el grupo de carriles, que está compuesto de uno o más carriles que pertenecen a un mismo acceso de la intersección.

La capacidad para estas intersecciones se define a partir de la capacidad de cada uno de los grupos de carriles. Dicha magnitud es la intensidad máxima que puede circular a través de la intersección en las condiciones en las que se encuentre el tráfico, la calzada y la semaforización.

El estudio de las condiciones incluye factores como la geometría, la distribución de vehículos por movimientos y el tipo de ellos, la presencia o no de paradas de transporte público, la existencia de aparcamientos, etc., y el control del semáforo:

tiempo de las fases, tipo de controlador, etc. Por su parte, el nivel de servicio viene caracterizado por la demora media por vehículo, que debe calcularse para cada movimiento por separado.

En la Tabla No. 5 se define los seis niveles de servicio, cuyas características principales son:

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA POR CONTROL (SEGUNDOS/VEHÍCULO)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

TABLA No. 5: Niveles de servicio en intersecciones con semáforos.

FUENTE: TRB. HCM 2000.

2.5.9.3.1 Nivel de Servicio A

Operación con demoras muy bajas, menores de 10 segundos por vehículo. Muchos de ellos no llegan a detenerse, puesto que atraviesan el cruce durante la fase de verde. Puede conseguirse con tiempos de ciclo pequeños.

2.5.9.3.2 *Nivel de Servicio B*

Operación con demoras entre 10 y 20 segundos por vehículo. Como se detienen más vehículos que en el nivel de servicio A, hay más demora. Este nivel es factible con tiempos de ciclos pequeños, buena progresión o ambas cosas a la vez.

2.5.9.3.3 *Nivel de Servicio C*

Operación con demoras entre 20 y 35 segundos por vehículo. La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos empiezan a malograrse.

Esto puede deberse a una progresión aceptable, tiempos de ciclo algo más largos o una combinación de ambos. Pueden comenzar a aparecer fallos de capacidad en ciclos individuales. Un fallo de ciclo ocurre cuando una fase de verde es incapaz de dar paso a todos los vehículos que estaban haciendo cola ante el semáforo. En este nivel de servicio, la proporción de vehículos que se detiene empieza a ser significativa, aunque muchos de ellos son capaces de atravesar la intersección sin tener que pararse.

2.5.9.3.4 *Nivel de Servicio D*

Operación con demoras entre 35 y 55 segundos por vehículo. Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o llegadas en la fase roja, longitudes de ciclo amplias, o relaciones v/c altas. Además, los fallos de capacidad en ciclos individuales se advierten con notoriedad.

2.5.9.3.5 Nivel de Servicio E

Operación de demoras entre 55 y 80 segundos por vehículo. Se considera como el límite de demoras. Las demoras son causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones v/c muy altas. Los fallos de capacidad individuales son muy frecuentes.

2.5.9.3.6 Nivel de Servicio F

Operación con demoras superiores a los 80 segundos por vehículo. Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección. Lo que ocasionan congestión y operación saturada; esto es, cuando la intensidad de llegada supera a la capacidad de los grupos de carriles. La situación que se produce, que es considerada por muchos conductores como inaceptable. También puede estar ligada a altas relaciones intensidad/capacidad con muchos fallos en ciclos individuales. Malas progresiones y tiempos de ciclo muy largos también contribuyen.

El hecho de que en algún lugar de la intersección se alcance el nivel de servicio F no quiere decir que esté superándose la capacidad, puesto que es posible que se dé con relaciones intensidad/capacidad inferiores a 1. Del mismo modo, un nivel de servicio aceptable puede tenerse con relaciones superiores a 1. Ello dependerá de la programación de la señal. **No existe una especificación en la cual se diga que una intersección deba tener un determinado nivel de servicio, esto dependerá de la entidad reguladora. Sin embargo una intersección nueva debería iniciar operando con un nivel de servicio C.**

2.5.9.4 Colas (HCM)

Para el cálculo de las colas, existe también una metodología establecida por HCM en el capítulo 16, en la cual se determina la cola promedio, que está en función de dos tipos de cola, la primera Q_1 es la cola por vehículos que llegan tanto en la fase de rojo como en el inicio del verde, y una cola dos Q_2 , que es función de la aleatoriedad de los arribos.

$$Q = Q_1 + Q_2$$

ECUACIÓN No. 43: Cola Máximo Promedio.

La cola Q_1 , está en función del volumen, del tiempo de ciclo, del tiempo de verde y del grado de saturación.

$$Q_1 = PF_2 \frac{\frac{v_L c}{3600} \left(1 - \frac{g}{C}\right)}{1 - \left[\min(1.0, X_L) \frac{g}{C}\right]}$$

ECUACIÓN No. 44: Vehículos que Arriban Durante Rojo y al Inicio de Verde

Adicionalmente de un factor de proyección, que es un ajuste por la progresión del tráfico.

$$PF_2 = \frac{\left(1 - R_P \frac{g}{C}\right) \left(1 - \frac{V_L}{S_L}\right)}{\left(1 - \frac{g}{C}\right) \left[1 - R_P \left(\frac{V_L}{S_L}\right)\right]}$$

ECUACIÓN No. 45: Ajuste por Tipo de Progresión (Dispersión).

Donde:

- Q: Cola máxima promedio.
- Q_1 : vehículos que arriban durante rojo y al inicio de verde (disipan el resto).
- Q_2 : Cola incremental (aleatoriedad en los arribos).
- C: longitud del ciclo (s)
- g: verde efectivo para el grupo (s).
- X: grado de saturación para el grupo.
- PF2: ajuste por tipo de progresión (dispersión).
- R_p : tasa del pelotón.
- S: flujo saturación.
- v: volumen en el grupo.

La cola dos Q_2 está en función del grado de saturación, el factor de ajuste por el arribo de pelotones.

$$Q_2 = 0.25 c_L T \left[(X_L + 1) + \sqrt{(X_L + 1)^2 + \frac{8k_B X_L}{c_L T} + \frac{16k_B Q_{bL}}{(c_L T)^2}} \right]$$

ECUACIÓN No. 46: Final de la Cola Promedio (Grupo).

Donde:

- Q_2 : Cola incremental (aleatoriedad en los arribos).
- c: capacidad del grupo.
- g: verde efectivo para el grupo (s).
- X: grado de saturación para el grupo.
- S: flujo saturación.

- K_b : ajuste por arribos tempranos.
- T: longitud período análisis.
- I: factor de ajuste por arribo pelotones.

$$k_b = 0.12I \left(\frac{S_L g}{3600} \right)^{0.7}$$

ECUACIÓN No. 47: Ajuste por Arribos Tempranos.

En la siguiente tabla se muestran los valores según el HCM:

EXHIBIT 15-7. RECOMMENDED I-VALUES FOR LANE GROUPS WITH UPSTREAM SIGNALS

	Degree of Saturation at Upstream Intersection, X_U						
	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	$\geq 1,0$
I	0,922	0,858	0,769	0,650	0,500	0,314	0,090

TABLA No. 6: Valores recomendados para grupos de carriles.

FUENTE: TRB. HCM 2000.

2.5.9.4.1 Método simplificado.

Existen métodos simplificados de colas como el de Webster, que está en función del flujo, del rojo efectivo, la demora promedio del grupo de carriles, de un espaciamento promedio en la cola, el número de carriles en cola y la velocidad de flujo libre del

tráfico. Todo esto para determinar el número promedio de vehículos que están haciendo cola durante el rojo.

Se calcula a partir de las siguientes fórmulas, tomando el valor máximo de entre las dos siguientes formulas:

$$\left. \begin{aligned} N &= q \left(\frac{r}{2} + d \right) \left(1 + \frac{q \cdot j}{a \cdot u} \right) \\ N &= q \cdot r \left(1 + \frac{q \cdot j}{a \cdot u} \right) \end{aligned} \right\} \text{Máx.}$$

ECUACIÓN No. 48: Cola Promedio al Inicio del Verde.

Donde:

- N = cola promedio al inicio del verde.
- q = flujo.
- r = rojo efectivo.
- d = demora promedio.
- a = número de carriles en cola.
- j = espaciamiento promedio en la cola (6).
- u = velocidad de flujo libre del tráfico.

CAPÍTULO III

3. METODOS Y MATERIALES.

3.1 METODOS

3.1.1 Programas Computacionales:

Debido a la complejidad del gran número de variables, que intervienen en el fenómeno del flujo vehicular en redes viales urbanas, y en ocasiones a la dificultad del entendimiento de cómo ellas se caracterizan en el tránsito; en muchas situaciones la toma de decisiones se basa en la experimentación, dando como resultado proyectos viales muy alejados de la realidad en la solución de un determinado problema.

En la medida de que los problemas de circulación vehicular se enfocan técnica y científicamente, mediante la elaboración de un método específico o mediante la utilización de ciertas metodologías, como por ejemplo la adaptación de modelos de optimización y simulación de las condiciones locales, se podrán generar diversas alternativas de solución.

Es por esto que se ha creído conveniente utilizar para nuestra investigación el programa SYDRA INTERSECTION 5.1, el cual incorpora la metodología HCM 2000 ó HCM 2010.

Las ventajas que ofrece este programa son las siguientes:

- Estimación de la capacidad, los niveles de servicio y las características de funcionamiento, tales como: demoras, longitudes de cola, tasa de detenciones, el consumo de combustible, emisiones de gases contaminantes y costos de operación.
- Análisis de alternativas de diseño, estrategias de fases y tiempos de semáforos hasta la llegar a la optimización.
- Estimación de la vida útil de los diseños.
- Diseño de disciplinas de uso de carriles.
- Diseño de longitudes de carriles cortos, tanto para vueltas a la izquierda, vueltas a la derecha como para estacionamientos.
- Análisis del efecto de los vehículos pesados en la operación.
- Análisis de los casos complejos de carriles compartidos, vueltas con oposición y carriles cortos antes y después del cruce.
- Determinación de tiempos de semáforos para arreglos de fases complejos.
- Análisis de condiciones de sobresaturación (teoría de colas y demoras dependientes del tiempo).

3.1.1.1 SOFTWARE SIDRA INTERSECTION 5.1

El software SIDRA INTERSECCIÓN, se desarrolló con un mismo propósito para proporcionar una potente herramienta que ayuda a ahorrar tiempo y esfuerzo, que permite la producción de soluciones efectivas para condiciones de tráfico locales.

El software INTERSECCIÓN SIDRA se usa como una ayuda para el diseño y evaluación de las intersecciones señalizadas (tiempo fijo/programado y accionado), los cruces señalizados para peatones, intercambiadores de un solo punto (señalizado), rotondas, medición de la rotonda, dos vías de control de señal de Pare, todas las vías de control de señal de parada y ceda el paso.



ILUSTRACIÓN No. 4: Imagen del software Sidra Intersection 5.1.

FUENTE: Sidra Solutions.

La flexibilidad de SIDRA permite su aplicación a muchas otras situaciones, incluyendo las condiciones de tráfico sin interrupciones de flujo y análisis de la fusión.

Es una avanzada herramienta de micro-análisis de evaluación que utiliza el tráfico de carril por carril y el vehículo del ciclo de disco-modelos, junto con un método iterativo de aproximación para proporcionar estimaciones de las estadísticas de capacidad y rendimiento (retraso, la longitud de cola, deje de tasa, etc.) Aunque SIDRA INTERSECCIÓN es un paquete de intersección solo de análisis, puede realizar el

análisis de señales de tráfico como una intersección aislada (por defecto) o como un cruce coordinado mediante la especificación de los datos de llegada.

Informe de entrada y de salida de datos. Para los modelos HCM usuales y medidas métricas, la nueva ecuación se describe en el HCM 2010, adoptado los parámetros de costos de operación (el precio del combustible y el valor de tiempo) actualizado para todos los modelos.

Nuevas y potentes características para el análisis de intersecciones con la integración del HCM 2010.

- Las plantillas para todo tipo de intersección, incluyendo rotondas, señales y control de señales de la versión actualizada del HCM.
- Aplicar a todas las características de sitios para hacer el cambio de datos y la configuración de modelo a nivel de proyecto fácil.
- Los nuevos datos del volumen de importación desde otra función del sitio en el diálogo de volúmenes.
- Las importantes mejoras en la visualización de diseño de la rotonda y de otro tipo de intersección.
- Nuevo resumen de salida del nivel de servicio con pantalla gráfica de los resultados del nivel de carril por carril, además de la presentación de imágenes.
- El acceso del usuario a más parámetros del modelo de calibración, incluyendo la utilización de carril de aguas abajo y los parámetros de los vehículos de comunicación.

- Los parámetros de costo operativo (el precio del combustible y el valor de tiempo) actualizado.
- Modelo de cola Percentil.
- Varios modelos de tráfico y mejoras en la interfaz de usuario.
- Actualización Guía del usuario y sistema de ayuda. Los temas de ayuda por el campo de entrada de datos y el informe de la producción por una presentación.
- Ningún otro software emplea un potente análisis de la capacidad carril por carril y el método de análisis de rendimiento y la unidad del ciclo de modelado.
- Potente modelación medioambiental para ayudarle a diseñar las intersecciones verdes.

SIDRA es una herramienta muy potente y útil para los ingenieros de tráfico. Su reputación es a menudo empañada cuando no se utiliza correctamente, es decir, cuando un modelo de base calibrada no refleja las observaciones actuales. Es fácil de usar para los ingenieros de tráfico con experiencia, especialmente en lo referente los manuales detallados proporcionados.

Una gran herramienta para permitir a los estudiantes llevar a cabo el trabajo del proyecto en las intersecciones reales como parte del programa académico.

Los datos de salida son muy útiles y concisos para la presentación de informes.

Es muy confiable, versátil y eficaz para analizar el rendimiento de la intersección. La capacidad de calibrar el modelo para representar con precisión las características existentes de intersección ha sido de gran beneficio para el diseño y planificación a futuro de la intersección.

Es una avanzada herramienta de evaluación que utiliza el tráfico de carril por carril y modelos de vehículos de unidad de ciclo. Es un paquete de software de renombre en todo el mundo utilizado para análisis de capacidad, nivel de servicio y análisis de rendimiento por el diseño de tráfico, operaciones y profesionales de la planificación.

INTERSECCIÓN SIDRA incorpora la metodología que lleva analítico basado en el premiado Dr. Akcelik de investigación y desarrollo.



ILUSTRACIÓN No. 5: Intersección SIDRA.

FUENTE: El Autor.

3.1.1.1.1 *Metodologías*

SIDRA INTERSECCIÓN, en esencia un modelo matemático para el análisis de tráfico, ha sido una herramienta valiosa transferencia de tecnología sobre la base de una amplia investigación realizada en Australia, EE.UU. y otros países. Se ha desarrollado continuamente en respuesta a los comentarios de los ingenieros y planificadores de tráfico. Esta información ha mejorado los métodos utilizados en la intersección SIDRA y ha expandido su funcionalidad para cubrir una gama más amplia de los problemas.

Desarrollado a lo largo de 30 años, INTERSECCIÓN SIDRA utiliza una de las metodologías más avanzadas de cualquier paquete de diseño de tráfico.

Se puede utilizar para evaluar y comparar la capacidad, el nivel de servicio y el rendimiento de los tratamientos alternativos que implican intersecciones señalizadas, rotondas, señales de la rotonda de medición, detener de dos vías y que cede el paso, de un solo punto intercambios urbanos, y los cruces señalizados para los peatones mitad de cuadra, en un solo paquete. Esto es a diferencia de otro software, como Arcadia, PICADY y OSCADY de TRL (Reino Unido), que es modelo de los diferentes tipos de intersecciones en paquetes separados.

3.1.1.1.2 *Calibración.*

SIDRA INTERSECCIÓN ofrece instalaciones para calibrar el modelo de tráfico para las condiciones de tráfico locales, que son fáciles de usar y potenciar:

- El nivel de modelo realista de detalle permite la entrada para que coincida con la vida real las condiciones del tráfico.
- El número grande de las plantillas disponibles para representar a las diversas condiciones de intersección.
- Sensibilidad de las instalaciones de análisis permite comprobar el efecto de las variaciones en los valores de los parámetros clave en la salida.
- Guía del usuario describe las técnicas de técnicas de calibración locales (incluidos los métodos de la encuesta)

3.1.1.1.3 *Interfaz de usuario*

SIDRA INTERSECCIÓN ofrece una solución fácil de usar con Microsoft Office 2007 al estilo de interfaz de usuario con la gestión de mejorada de archivos, cuadros de diálogo de entrada, control de errores, un informe detallado de entrada, de salida de numerosos informes y presentaciones gráficas y una instalación de gráficos.

3.1.1.1.4 *Plantillas*

Utilice la función de plantillas para los diseños de intersección común ayudará a reducir el tiempo de preparación de datos en gran medida. Más de 100 plantillas para las rotondas, señales, control de señales y los peatones están disponibles, incluyendo todos los ejemplos de diseño de la rotonda de MUTCD.

3.1.1.1.5 *Fácil configuración de la intersección*

SIDRA permite la creación de modelos de intersección con facilidad utilizando el ahorro de tiempo de configuración de la intersección y los métodos de calibración. Los datos de peatones se dan en los cuadros de diálogo de entrada de datos mejorados, incluyendo peatones de tiempo. Las prioridades del Movimiento de oposición (se oponen a los movimientos) se ajustan automáticamente con las mangas en diagonal, los enfoques y los movimientos prohibidos eliminados se introducen, y cuando el tipo de movimiento (por ejemplo, carriles de deslizamiento) o control (por ejemplo, las principales carretera / señal de stop) se cambia.

3.1.1.1.6 *Inspeccione la salida con facilidad*

La salida incluye los resultados de la capacidad, el calendario y los resultados reportados para rutas individuales, los movimientos individuales, las agrupaciones de movimiento (tales como vehículos y peatones), y de la intersección en su conjunto. Las estimaciones de las características de capacidad y rendimiento (incluidas las cantidades anuales), tales como longitud de la cola demora, deje de tasa, así como costos de operación, consumo de combustible y las emisiones contaminantes se encuentran disponibles para todo tipo de intersección.

3.1.1.1.7 *Aprendizaje*

INTERSECCIÓN SIDRA contiene amplias instalaciones de ayuda. La documentación completa (500 páginas Guía del usuario, más importantes que apoyan los informes técnicos y documentos) está disponible.

3.1.1.1.8 *Modelo de tráfico*

SIDRA INTERSECCIÓN garantiza la coherencia del modelo en la evaluación de los tratamientos alternativos de intersección. Esto se aplica a diferentes tipos de intersección, incluyendo intersecciones señalizadas, rotondas, dejan de dos vías y que cede el paso/rendimiento señal de control, todo el camino, dejar de control de signo, de un solo punto intercambios urbanas, cruces peatonales señalizados y mucho más.

3.1.1.1.9 *Modelo Carril-a-Carril*

Es el único que realiza análisis de la capacidad carril por carril y el método de análisis de rendimiento se utiliza para permitir los carriles exclusivos y la utilización de carriles desiguales. Este método es superior a los modelos basados en la aproximación y el carril de grupo utilizados en otros paquetes de software.

3.1.1.1.10 *Modelo del ciclo de Vehículo*

La estimación del vehículo camino de la unidad de ciclo (análisis modal) el método para la predicción de costos de operación, consumo de combustible, gas de efecto invernadero (CO₂) y contaminantes (CO, NO_x, HC), y componentes de los vehículos de retardo, incluyendo retraso se detuvo, la aceleración - desaceleración de retraso, colas demora y demora geométrica.

3.1.1.1.11 *Características del modelo*

Calibrar los modelos de tráfico para sus condiciones locales. Llevar a cabo análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de los cambios en los parámetros que representan la geometría de la intersección y el comportamiento del conductor. Analizar las condiciones sobresaturados haciendo uso de la longitud de la cola en función del tiempo de retardo, y dejar de modelos de tipo de cambio. Investigar las posibles repercusiones de los modelos alternativos que utilizan la capacidad de la configuración avanzada del modelo.

3.1.1.1.12 *Valores predeterminados del sistema*

SIDRA INTERSECCIÓN cuenta con un sistema de valores por defecto amplio que abarca a la mayoría de los datos de entrada y parámetros del tráfico del modelo. Usted puede crear su propio modelo a medida y editar los parámetros por defecto establecidos para sus propios fines, por ejemplo, para calibrar algunos parámetros para las condiciones locales.

3.1.1.1.13 *Vida de diseño.*

Llevar a cabo una vida de diseño o el análisis de flujo de escala para evaluar el impacto del aumento del tráfico normal, o el impacto de los acontecimientos. Permitir diferentes tasas de crecimiento de los movimientos individuales y las opciones de uso para la fijación de objetivos diferentes de análisis incluido el último año, el peor nivel de movimiento de la Meta de servicio, peor nivel carril de la meta de servicio, capacidad y capacidad práctica.

3.1.1.1.14 *Intersección de la geometría*

Las intersecciones con un máximo de 8 patas, cada una con una sola vía o el tráfico de dos vías, los enfoques de un solo carril o de varios carriles, y los carriles cortos, de deslizamiento y los carriles continuos de circunvalación y girar a la prohibición, según proceda. Diseño de la geometría de la intersección incluida los acuerdos de uso de carriles aprovechando el método de análisis único carril por carril de INTERSECCIÓN SIDRA. Analizar muchas alternativas de diseño para optimizar la geometría de intersección. Analizar el impacto de la intersección de la quema a través de los carriles

cortos (bahías de giro, carriles con estacionamiento aguas arriba, y la pérdida de un carril en el lado de salida). Analizar los casos complicados de carriles compartidos y giros opuestos, por ejemplo, fases permisivas y protegidas, vías de deslizamiento, se enciende en rojo.

3.1.1.1.15 *Vehículos y Conductores*

Analizar los efectos de los vehículos pesados sobre el rendimiento de la intersección. Utilizar equivalentes de vehículos pesados para la calibración del modelo para permitir a los vehículos de gran tamaño en los flujos de tráfico específicos. Utilice la salida SIDRA intersección de las rutas de vehículos a través de la intersección (distancia de negociación, el radio y la velocidad) en el control de su diseño de la intersección. Investigar las características del controlador incluyendo el tiempo de respuesta de las estimaciones del conductor asociado a la descarga de colas. Utilice esta información para calibrar los modelos de micro simulación.

3.1.1.1.16 *Medidas de Rendimiento y Nivel de Servicio*

INTERSECCIÓN SIDRA ofrece un gran número de medidas de desempeño de intersección. Las medidas estándar de rendimiento, tales como la longitud de la cola de retardo, y el número de paradas, así como medidas para ayudar a los impactos ambientales y el análisis económico se proporcionan. Las medidas de rendimiento que ofrece INTERSECCIÓN SIDRA incluyen los siguientes:

- Promedio de retraso (demora por paradas, retardo de cola, la demora geométrica, la demora de control): segundos por vehículo, segundos por persona.
- Demora total (tasa de retraso): veh-hora por hora, horas-persona por hora.
- Tasa de parada efectiva: número de paradas por vehículo o por persona
- Capacidad (veh/h)
- El grado de saturación (V/C): porcentaje
- Relación de flujo (flujo de llegada/saturación de la relación de flujo)
- Promedio de velocidad de funcionamiento: mph, km/h
- Velocidad en el área de intersección: mph, km/h
- Índice de Rendimiento: una combinación ponderada de retrasos, paradas y la longitud de la cola.
- Las emisiones contaminantes (CO, HC, NO_x, CO₂): gramos, kg (por hora, por km).
- El consumo de combustible: galones, litros, mpg, L/100km.
- Costo de operación: Dólares por hora trabajada, por milla o km.
- Rendimiento y el nivel de resultados de los servicios se dan en diferentes niveles de agregación: los carriles individuales, los movimientos individuales, los enfoques y rendimiento y el nivel de resultados de los servicios se dan para: vehículos, los peatones, y las personas (los resultados para los peatones y las personas en los vehículos).

3.1.1.1.17 *Nivel de opciones de servicio*

Ofrece un gran número de Nivel alternativa de servicio (LOS) los métodos y los ajustes LOS objetivo para determinar un diseño aceptable: retardo y grado de saturación (V/C) - HCM 2010 Método para vehículos, retardo - HCM 2000 método para vehículos, el retardo (Método SIDRA) para los peatones, el retardo (RTA Método NSW) para los vehículos, el grado de saturación (Método SIDRA) para los vehículos, el grado de saturación (Método UCI) para los vehículos, as opciones de la rotonda de LOS: igual intersecciones señalizadas.

Como herramienta analítica, SIDRA INTERSECCIÓN produce resultados únicos deterministas para un conjunto dado de insumos, mientras que los paquetes de software sobre la base de micro simulación en general, no lo hacen. Esto se aplica a la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de las estimaciones para cada carril, el movimiento de cada uno, el enfoque de cada uno y la intersección.

3.1.1.1.18 *Señales*

Es un potente paquete de software para la sincronización, capacidad, rendimiento y nivel de servicio de análisis de las intersecciones señalizadas (cruces controlados por semáforos), incluidos los efectos de coordinación de la señal. Se utiliza un avanzado método de análisis crítico que permitan el movimiento de movimientos se superponen y los movimientos verdes, con dos períodos por ciclo.

Sincronización de la señal de tráfico, determinar los tiempos de la señal que utilizan métodos de señal fija de tiempo/programado y accionado de análisis para cualquier

geometría de la intersección que permitiera arreglos simples eliminación gradual, así como complejos que involucran movimientos se superponen. Seleccione una de las muchas opciones de ciclo de tiempo disponibles. Utilice las opciones avanzadas de sincronización de la señal como la prioridad de división verde para realizar movimientos coordinados y grados de destino iguales y desiguales de saturación, la optimización del tiempo de ciclo de tiempo fijo/programados señales o coordinadas señales activadas, y la optimización máxima de color verde para las señales de accionamiento.

3.1.1.1.19 *Tiempo de Ciclo y Opciones verde*

Ofrece diferentes opciones para especificar el método deseado de cálculo del tiempo de ciclo (sujeto a limitaciones de tiempo mínimo y máximo del ciclo):

- El tiempo de ciclo práctico: Un tiempo de ciclo y los tiempos de verdes que satisfacen las necesidades prácticas (objetivo) el grado de saturación de los movimientos críticos se determinan.
- El tiempo de ciclo óptimo: un ciclo de tiempo que optimiza el rendimiento de una medida seleccionada se determina para plazo fijo programado o coordinados señales activadas. Uno de un gran número de opciones puede ser elegida como la función de rendimiento para determinar el mejor tiempo de ciclo.
- Teniendo en cuenta el usuario Tiempo de ciclo: Los tiempos de verde con el tiempo de ciclo dado se determina por tiempo fijo o coordinado programados señales activadas.

3.1.1.1.20 *Medio Ambiente y Costos*

Estima que las implicaciones de costos, la energía y la contaminación de su diseño de la intersección con un modelo de vehículo único camino (modelo 4 en modo elemental, con una aceleración más detallada, la desaceleración, al ralentí, los elementos de cruce). Este método de unidad de ciclo (análisis modal), junto con un modelo de vehículo basado en el poder ayuda a estimar el costo de operación, consumo de combustible, gas de efecto invernadero (CO₂) y contaminantes (CO, NO_x y HC) de las emisiones hacia la reducción de los impactos ambientales de la congestión del tráfico. El modelo incluye las estimaciones de los tiempos de aceleración y desaceleración y las distancias para vehículos ligeros y pesados, junto con un modelo polinomio de perfil de aceleración-tiempo.

3.1.1.1.21 *Análisis costo-beneficio*

Sidra estimaciones de rendimiento de intersección (retraso, el número de paradas, velocidad media, etc.) se puede utilizar como parámetros en el modelo de análisis económico, o las estimaciones de gastos de funcionamiento de INTERSECCIÓN SIDRA puede ser utilizado directamente, por análisis beneficio - costo para evaluar los tratamientos de intersección. Esto se ve reforzada por el análisis de la demanda (la vida de diseño o en la Escala de flujo) las instalaciones. Los importes anuales de las estadísticas de rendimiento, tales como retardo total, el costo total de operación, el consumo total de combustible, las emisiones totales de CO₂ al año también están disponibles para este propósito.

3.1.1.1.22 *HCM versión de SIDRA INTERSECTION*

La Highway Capacity Manual (HCM) versión de INTERSECCIÓN SIDRA ofrece opciones para unidades del sistema y métricas. Es compatible con el Highway Capacity Manual. Sin embargo, a diferencia de otros paquetes de software, la versión HCM de INTERSECCIÓN SIDRA no pretende ser una simple réplica de los procedimientos de HCM. En su lugar, INTERSECCIÓN SIDRA ofrece varias extensiones de las capacidades de HCM ofrece. Incluye diversas opciones de configuración para permitir al usuario elegir entre el HCM y las opciones estándar de modelo de Sidra, por ejemplo, el retardo de HCM y las opciones de cola modelo.

Para las intersecciones señalizadas, además de las características generales antes mencionadas, los métodos avanzados de sincronización de la señal están disponibles, y el uso de dos períodos de carriles verdes deslizamiento de modelado, RTOR y permite giros a la izquierda-protégido, proporciona estimaciones más precisas de la capacidad.

Mientras SIDRA es un software de análisis de una sola intersección, su modelo no asume operaciones aisladas. Por lo tanto, se puede utilizar para analizar las intersecciones estrechamente espaciadas, pasos de peatones cerca de las intersecciones, o cualquier número y tipo de intersecciones múltiples.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Caso Práctico de Aplicación en la ciudad de Cañar

3.2.1.1 Generalidades.

La Ciudad de Cañar, está situado al noroeste de la Provincia de Cañar (Ilustración 1). Se encuentra a 3.160 m.s.n.m., a una temperatura media anual de 11,8° C. Esta limitado al Norte, por la Provincia del Chimborazo; al Sur, por la Provincia del Azuay y los cantones de Biblián y Azogues; al Este, por el cantón Azogues; y al Oeste, por la Provincia del Guayas. El cantón Cañar tiene una extensión de 1.751.20 Km². Siendo este el de mayor extensión en la provincia, ocupando el 56.07% del territorio provincial. El cantón está dividido políticamente en: 12 Parroquias incluida la central, 252 comunidades.

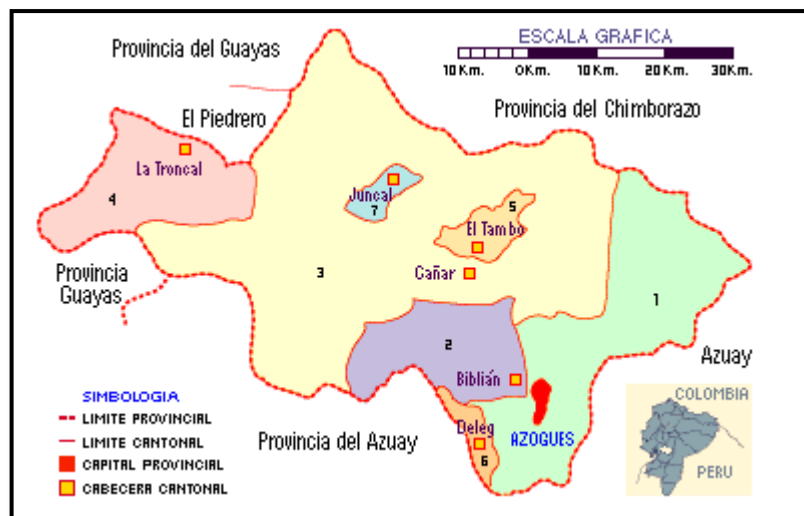


ILUSTRACIÓN 6: Mapa de la Provincia de Cañar.

FUENTE: I. Municipalidad de Cañar.

3.2.1.2 Población

Cañar en la medida que va creciendo a través de los años va configurando el paisaje urbanístico de una ciudad Hispanoamericana en constante transformación y crecimiento, como consecuencia de ciertos cambios socioeconómicos producidos. La mayor parte de la población pertenece a la raza mestiza, cuna de la tradición cultural que ha influido notablemente en la historia del País.

Actualmente la ciudad tiene alrededor de doce mil habitantes, en donde ha comenzado a hacerse presente la actividad comercial, sus tranquilas y coloniales calles de antaño van cobrando inusitada agitación. La arquitectura moderna ha tomado presencia lo que ha dado otra fisonomía a la ciudad.

CANTÓN	PARROQUIAS	HABITANTES	SUPERFICIE KM ²
CAÑAR	12	58.185	1.751

TABLA 7: Habitantes de Cañar.

La composición del cantón Cañar es similar a la del país en su conjunto. La mayor parte de su población es adulta; esto es, el 54% de su población tiene más de 18 años. La proporción de adultos es mayor en la población mestiza (58%), en los residentes urbanos (61%) y en los hogares que no han participado en la migración internacional (53%). Entre los adultos se destacan los grupos más jóvenes o de menos de 35 años.

3.2.1.3 **Distribución de la población según la residencia**

Igualmente, el cantón es mayoritariamente rural: 81% de su población reside en el campo, mientras que el 19% restante vive en las ciudades o pueblos.

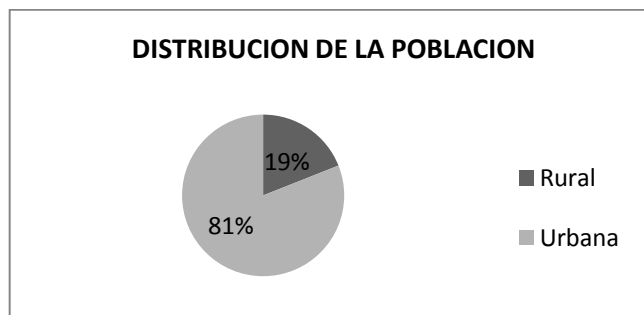


ILUSTRACIÓN 7: Población del cantón según residencia. (% de la población total)

FUENTE: GADIC-Cañar, 2011

3.2.1.4 **Sistema de transporte público en la ciudad de Cañar**

3.2.1.4.1 *Plan de movilidad en Cañar*

Cañar, al igual que la mayoría de ciudades de América Latina, enfrenta los problemas comunes a una ciudad de tamaño medio, en donde existe alta migración del campo a la ciudad, crecimiento urbano disperso y concentración de actividades en el área central, que ha generado necesidades de desplazamientos diarios de la población hacia diferentes sectores, generando congestión y las consecuentes afectaciones al ambiente.

La Municipalidad ha determinado la necesidad de elaborar un Plan de Movilidad que estructure la movilidad conforme a las necesidades actuales y futuras de los habitantes

del cantón, para fortalecer la productividad de la ciudad y mejorar la calidad de vida apuntando a un desarrollo sustentable.

El plan comprende la intervención en todos los ámbitos de la movilidad: transporte, tránsito, vialidad y regulaciones; el plan surge como una necesidad de la Municipalidad de contar con un marco de referencia que oriente la gestión institucional y la participación del sector privado en el desarrollo, modernización y gestión de la movilidad en el cantón Cañar.

3.2.1.4.2 Dirección de las rutas de las compañías de transporte

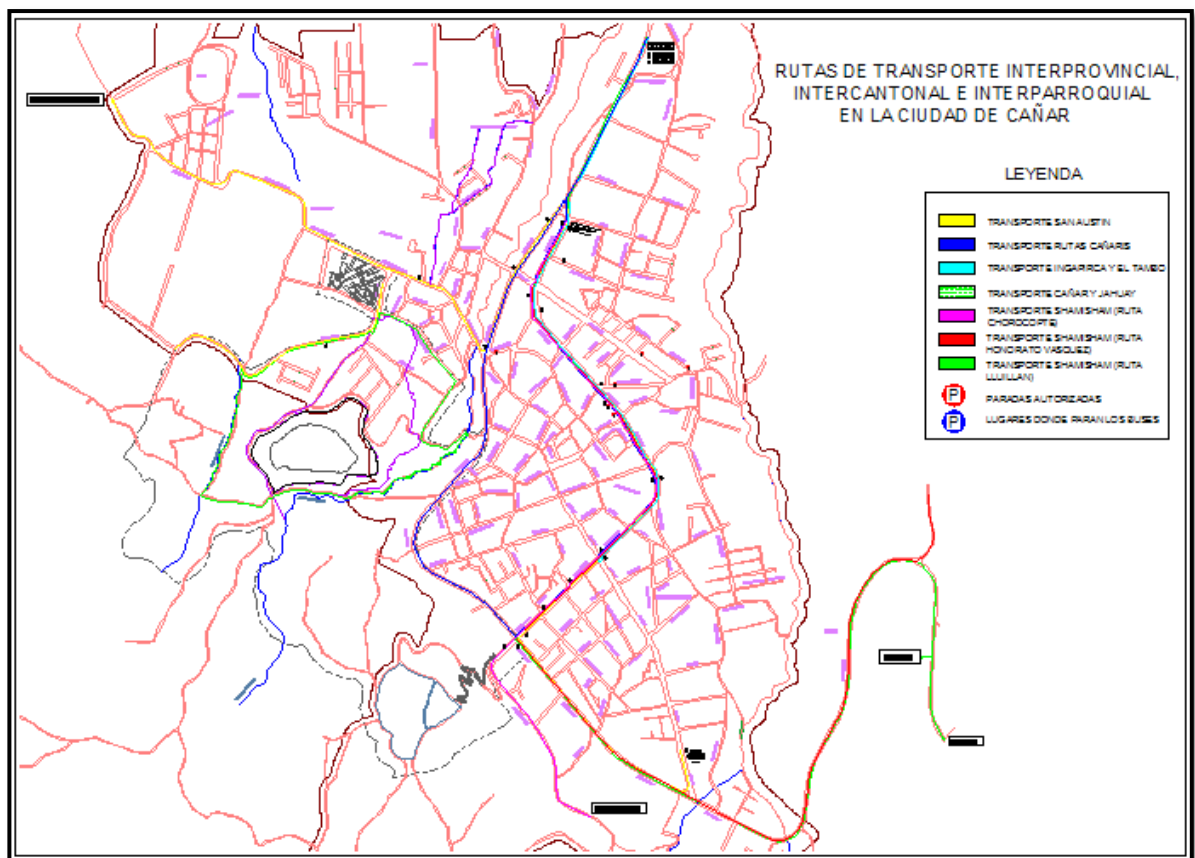


ILUSTRACIÓN 8: Mapa De Rutas. FUENTE: El Autor.

3.2.1.5 Accidentes de tránsito

Es el perjuicio ocasionado a una persona o bien material, en un determinado trayecto de movilización o transporte, debido (mayoritariamente) a la acción riesgosa, negligente o irresponsable, de un conductor, pasajero o peatón; como también a fallos mecánicos repentinos, errores de transporte de carga, condiciones ambientales desfavorables y cruce de animales durante el tráfico.

3.2.1.5.1 Accidentes de tránsito registrados en Cañar

A continuación observamos el número de accidentes de tránsito registrados en el Catón Cañar en los años 2008, 2009 y 2010, por parte del Consejo de Seguridad del Catón Cañar.

ACCIDENTES DE TRANSITO		TOTAL 2008	TOTAL 2009	TOTAL 2010	TOTAL 2008-2010
VICTIMAS	Choques	6	7	15	28
	Volques	3	2	9	14
	Atropellamientos	2	3	1	6
	Motocicletas	1	2	12	15
	TOTAL	12	14	37	63

TABLA 8: Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cañar.

FUENTE: Consejo De Seguridad Ciudadana Del Cantón Cañar

Número de accidentes de tránsito registrados en el Catón Cañar en los años 2009 y 2010, por parte del Hospital Luis F. Martínez A.

AÑO	No. DE ACCIDENTES
2009	295
2010	190

TABLA 9: Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cañar. **FUENTE:** Hospital Luis F. Martínez A.

3.2.2 INTERSECCIÓN: PANAMERICANA – AV. SAN ANTONIO



ILUSTRACIÓN No. 9: Intersección Panamericana y Av. San Antonio.

FUENTE: El Autor

3.2.2.1 **Descripción del Proyecto, Características generales.**

3.2.2.1.1 *Ubicación*

El proyecto se encuentra ubicado la ciudad de Cañar, en la zona central, de la parroquia Cañar, cantón Cañar.

3.2.2.1.2 *Alcance de los trabajos y metodología*

El estudio de tráfico de la intersección se realizó cumpliendo las siguientes actividades técnicas:

- Determinación de la Situación Actual.
 - Identificar las características principales del flujo de tráfico.
 - Identificar las condiciones de los estacionamientos en la vía, su ocupación y rotación.

- Pronóstico de la Situación Futura.
 - Determinar el flujo de vehículos en un periodo de 5 años, es decir el número de vehículos que circularán por la intersección en el año 2016.
 - Identificar los patrones de tráfico y movilidad probables una vez que transcurra el período de 5 años.
 - Determinar el efecto del estacionamiento.
 - Determinar posibles medidas de mitigación en caso de existir efectos negativos.

3.2.2.1.3 Conteos vehiculares

Se realizaron conteos de 12 horas durante dos días entre semana, y uno del fin de semana, en el periodo comprendido entre las 07:00 y las 19:00 en periodos de 15 minutos, clasificando los vehículos en: livianos, buses y camiones, y además por sentido de circulación. Para esto se definieron cuatro estaciones de conteo.

Los conteos se realizaron con personal ubicado en cada intersección, quienes registran los datos de tráfico en el formato. En la Figura 1 se muestra la ubicación de las estaciones de conteo.



FIGURA No. 20: Ubicación de las estaciones de conteo.

FUENTE: El Autor.

Para la programación de Conteos Vehiculares, es necesario ubicar las estaciones de conteo en sitios idóneos, desde los cuales se pueda tener una adecuada visibilidad para poder obtener los mejores resultados

INTERSECCIÓN PANAMERICANA Y SAN ANTONIO	Domingo, 11 de Diciembre de 2011				
	ESTACIÓN:	1	2	3	4
	DIRECCIÓN:	Norte-Sur	Sur-Norte	Este-Oeste	Oeste-Este
	Lunes, 12 de Diciembre de 2011				
	ESTACIÓN:	1	2	3	4
	DIRECCIÓN:	Norte-Sur	Sur-Norte	Este-Oeste	Oeste-Este
	Jueves, 15 de Diciembre de 2011				
	ESTACIÓN:	1	2	3	4
	DIRECCIÓN:	Norte-Sur	Sur-Norte	Este-Oeste	Oeste-Este

TABLA No. 10: Programación de Conteos Vehiculares.

FUENTE: El Autor

3.2.2.2 *Diagnostico de la oferta*

3.2.2.2.1 *Infraestructura vial. Características de las vías circundantes del proyecto*

El sector motivo de estudio se encuentra dentro del área urbana de la Ciudad de Cañar, en la zona centro.

3.2.2.2 Descripción general de las vías circundantes al proyecto

Avenida San Antonio: Vía principal, doble sentido de circulación, dos calzadas de 7 metros de ancho separadas por un parterre central y dos carriles de circulación sobre cada calzada.

Panamericana: Principal arteria vial de la región, hacia el sur, como hacia el norte, con un ancho de vía de 14 metros, funcionando como doble vía de dos carriles de circulación sobre cada calzada.

3.2.2.3 Operación y seguridad

3.2.2.3.1 Avenida San Antonio

En el sentido de circulación Este – Oeste, de la intersección Av. San Antonio y Panamericana, controlada por semáforos, algunos vehículos realizan una maniobra de giro no protegido hacia la izquierda, así como también giros en “U”.



ILUSTRACIÓN No. 10: Avenida San Antonio – Cañar. **FUENTE:** El Autor.

Para este último no existe señalización vertical de prohibición de giro, generando en horas de congestión demoras para los vehículos que circulan sobre el carril izquierdo, quienes tienen que esperar hasta que quienes los preceden realicen la maniobra de giro izquierdo o en "U". Además gran parte de estos giros son realizados de manera intempestiva e imprudente sin respetar las disposiciones de prohibición. Por otro lado el parqueo permanente a lo largo de todo el carril derecho, llegando inclusive a ocupar el lugar destinado para giro.



ILUSTRACIÓN No. 11: Imágenes de la Av. San Antonio. FUENTE: **El Autor.**

3.2.2.3.2 *Panamericana*

Sobre esta calle en el sentido de circulación Sur - Norte y Norte - Sur, el principal problema existente es la congestión generada por el parque de buses de pasajeros tanto local como interprovincial, el cual no cuenta con un diseño apropiado, destinado para este fin.



ILUSTRACIÓN No. 12: Fotos de la Calle Panamericana. FUENTE: **El Autor.**

3.2.2.4 Señalización horizontal y vertical

3.2.2.4.1 Avenida San Antonio

3.2.2.4.1.1 Señalización horizontal.

No existe ninguna señalización horizontal.



ILUSTRACIÓN No. 13: Señalización horizontal - Av. San Antonio Y Panamericana. FUENTE: **El Autor.**

3.2.2.4.1.2 *Señalización vertical:*

No existe señalización vertical





ILUSTRACIÓN No. 14: Señalización Vertical- Av. San Antonio Y Panamericana.

FUENTE: El Autor

3.2.2.4.2 *Panamericana*

3.2.2.4.2.1 *Señalización horizontal.*

No existe señalización horizontal.

3.2.2.4.2.2 *Señalización vertical.*

No existe señalización vertical.



ILUSTRACIÓN No. 15: Señalización Vertical y Horizontal de la Calle Panamericana. FUENTE: **El Autor**

3.2.2.5 *Estacionamientos*



ILUSTRACIÓN No. 16: Estacionamientos de la Intersección. FUENTE: **El Autor**

3.2.2.6 ***Volumen en vías en la intersección***

Para determinar los volúmenes de tráfico en las vías aledañas al proyecto, se ubicaron cuatro estaciones de conteo, dos sobre la Av. San Antonio y dos sobre la Panamericana. Los conteos se realizaron los días Domingo 11, lunes 12 y jueves 15 de Diciembre del año 2011, entre los horarios de 07:00 a 19:00.

En el capítulo correspondiente se detallan los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de conteo, durante los tres días de estudio, indicando los resultados de todos los vehículos que ingresan a la intersección en estudio, determinándose el mayor volumen de tráfico vehicular en la hora pico.

3.2.2.6.1.1 *Situación actual.*

La intersección en estudio es semafórica con giro permitido a la izquierda en la Av. San Antonio hacia la Panamericana y también con giro permitido en la Panamericana hacia la Av. San Antonio, el giro no es protegido ya que no posee bahía de giro ni fase propia de semáforo como se puede ver en el gráfico.

El estado del pavimento es bueno en la Av. San Antonio el pavimento presenta fisuras, la Panamericana actualmente se encuentra intervenida con la colocación de pavimento rígido.

En determinadas horas se observa presencia de la policía.

No existe señalización horizontal y vertical, pero a pesar de la prohibición de giro en U en la Av. San Antonio y Panamericana no se respeta del todo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE LA INTERSECCIÓN CON EL SOFTWARE

SIDRA INTRESECTION 5.1

Para poder utilizar el software, es necesario en primer lugar disponer de varios datos, los mismos que serán necesarios para la entrada del programa, entre ellos son: esquema detallado de los elementos que forman parte de la intersección, anchos de carriles, conteo vehicular clasificado, medición en campo del ciclo actual del semáforo, determinar los grupos de carriles, el porcentaje de vehículos pesados, teniendo principal cuidado en la geometría de la intersección.

4.1.1 Anchos de Carriles

NOMBRE	ANCHO CARRIL (m)	SENTIDO	OBSERVACIONES
Panamericana	7.00	N-S	Antes del Cruce
Panamericana	6.95	N-S	Después del Cruce
Panamericana	7.00	S-N	Antes del Cruce
Panamericana	6.95	S-N	Después del Cruce
Av. San Antonio	6.85	E-O	Antes del Cruce
Av. San Antonio	7.65	E-O	Después del Cruce
Av. San Antonio	7.65	O-E	Antes del Cruce
Av. San Antonio	6.60	O-E	Después del Cruce

TABLA No. 11: Ancho de los Carriles.

FUENTE: El Autor.

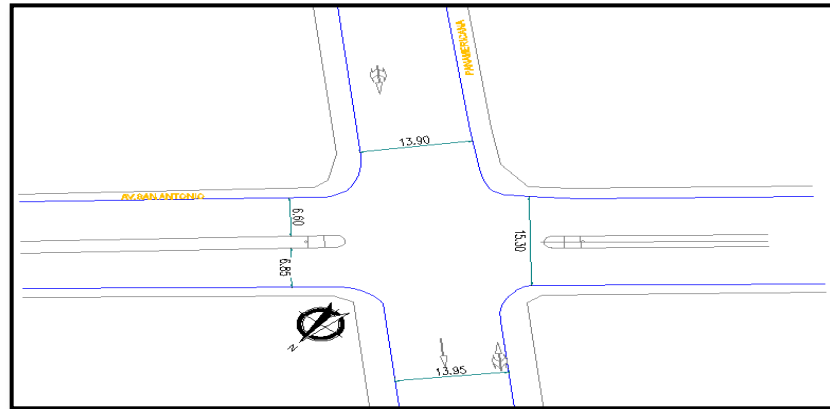


FIGURA No. 21: Ancho de los Carriles. FUENTE: El Autor.

4.1.2 Plano de la intersección.

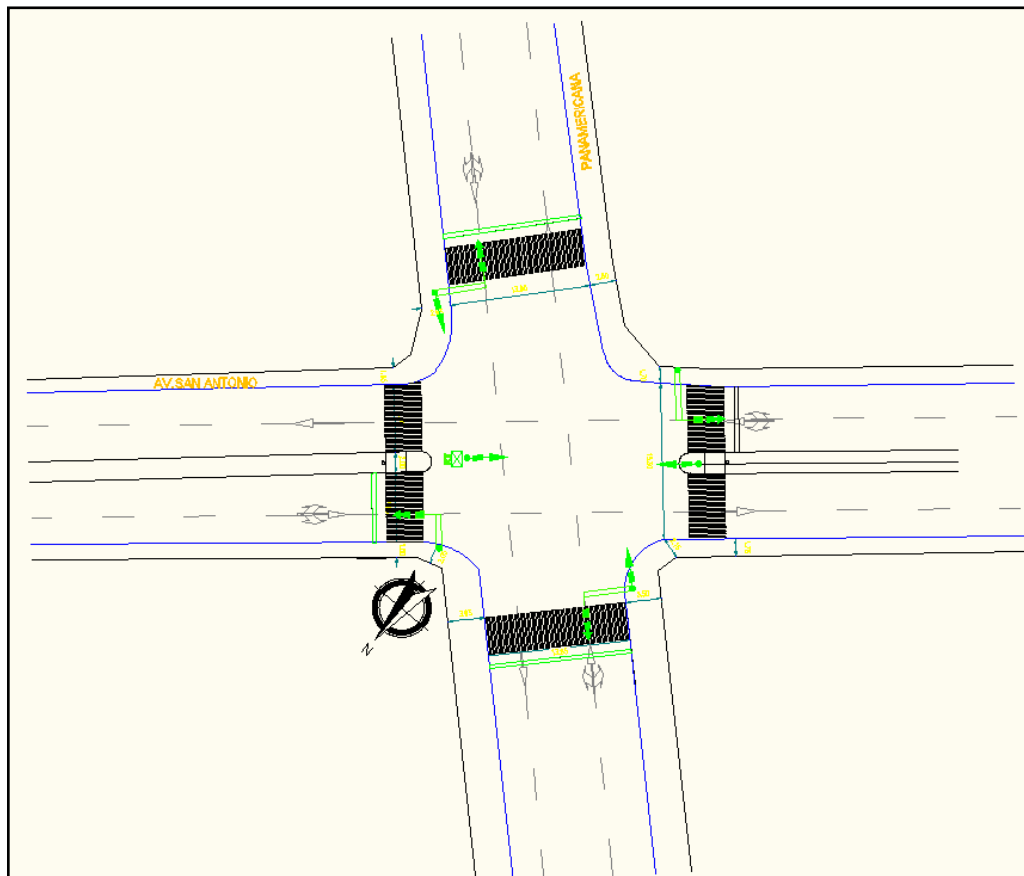


FIGURA No. 22: Plano de la Intersección. FUENTE: El Autor.

4.1.3 Ciclo actual del semáforo

La presente información es obtenida de la toma de datos directos tomados mediante la utilización de cronometro sincronizado para cada una de las aproximaciones.

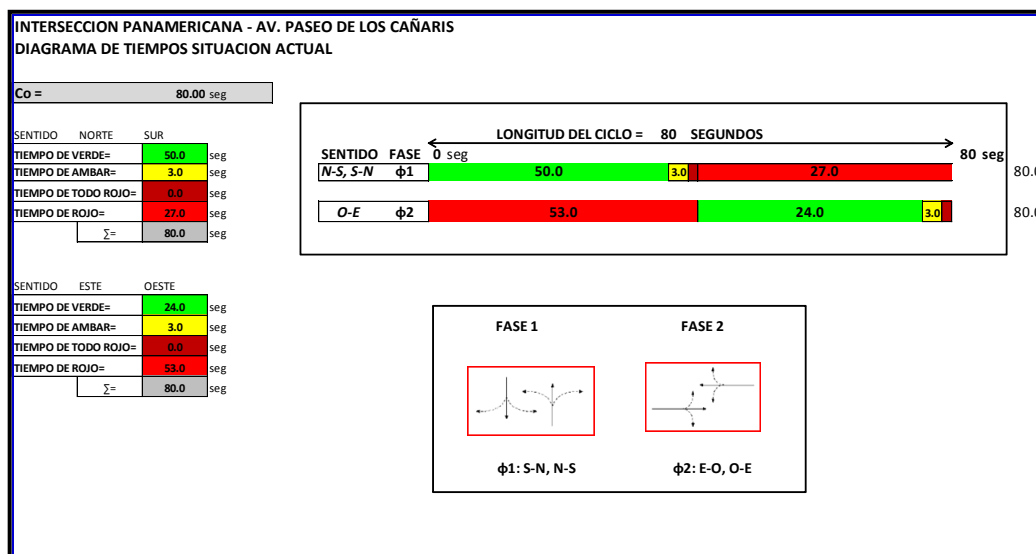


FIGURA No. 23: Ciclo Actual del Semáforo.

FUENTE: El Autor.

4.1.4 Formato de conteo vehicular clasificado.

Conteo de flujo de tráfico "Intersección: PANAMERICANA - AV. SAN ANTONIO"

Estación: **E1**
 Sentido: **ESTE-OESTE**
 Fecha:

Hora Inicial: 7:00
 Hora Final: 19:00
 Períodos: 15 min

Encuestadores:



Hora	Livianos				Pesados												Otros									
					Buses				Camiones				4 o más ejes													
					Buseta		Bus		2 Ejes		3 Ejes															
Giro	←	→	↑	↓	←	→	↑	↓	←	→	↑	↓	←	→	↑	↓	←	→	↑	↓	←	→	↑	↓		
7:00	7:15																									
7:15	7:30																									
7:30	7:45																									
7:45	8:00																									
8:00	8:15																									
8:15	8:30																									
8:30	8:45																									
8:45	9:00																									
9:00	9:15																									
9:15	9:30																									
9:30	9:45																									
9:45	10:00																									
10:00	10:15																									
10:15	10:30																									
10:30	10:45																									
10:45	11:00																									
11:00	11:15																									
11:15	11:30																									
11:30	11:45																									
11:45	12:00																									
12:00	12:15																									
12:15	12:30																									
12:30	12:45																									
12:45	13:00																									
13:00	13:15																									
13:15	13:30																									
13:30	13:45																									
13:45	14:00																									
14:00	14:15																									
14:15	14:30																									
14:30	14:45																									
14:45	15:00																									
15:00	15:15																									
15:15	15:30																									
15:30	15:45																									
15:45	16:00																									
16:00	16:15																									
16:15	16:30																									
16:30	16:45																									
16:45	17:00																									
17:00	17:15																									
17:15	17:30																									
17:30	17:45																									
17:45	18:00																									
18:00	18:15																									
18:15	18:30																									
18:30	18:45																									
18:45	19:00																									

FIGURA No. 24: Formato de Conteo Vehicular Clasificado. FUENTE: El Autor.

4.1.5 Diagrama de la Intersección. Flujo vehicular actual

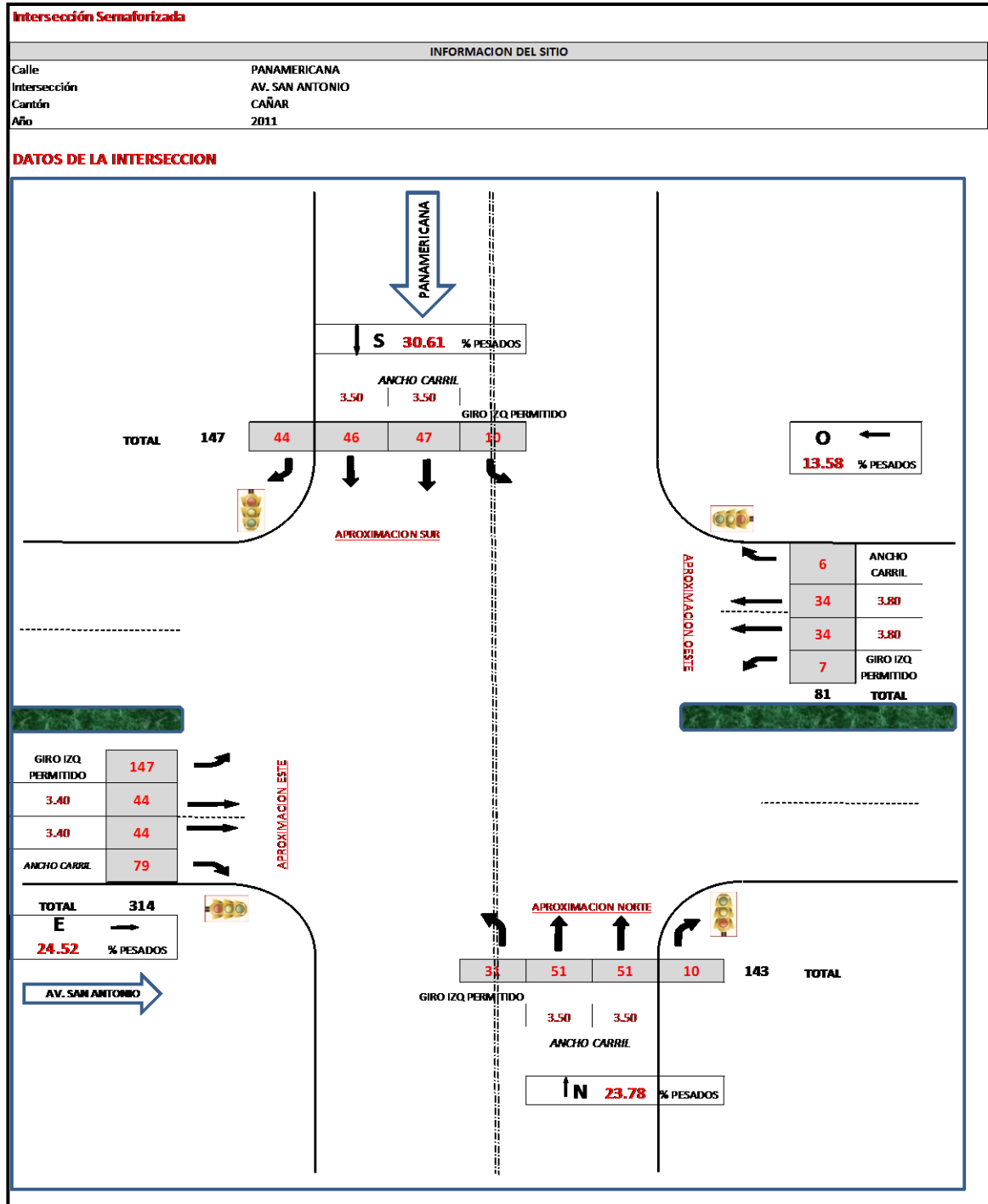


FIGURA No. 25: Diagrama de la Intersección. Flujo Vehicular Actual. FUENTE: El Autor.

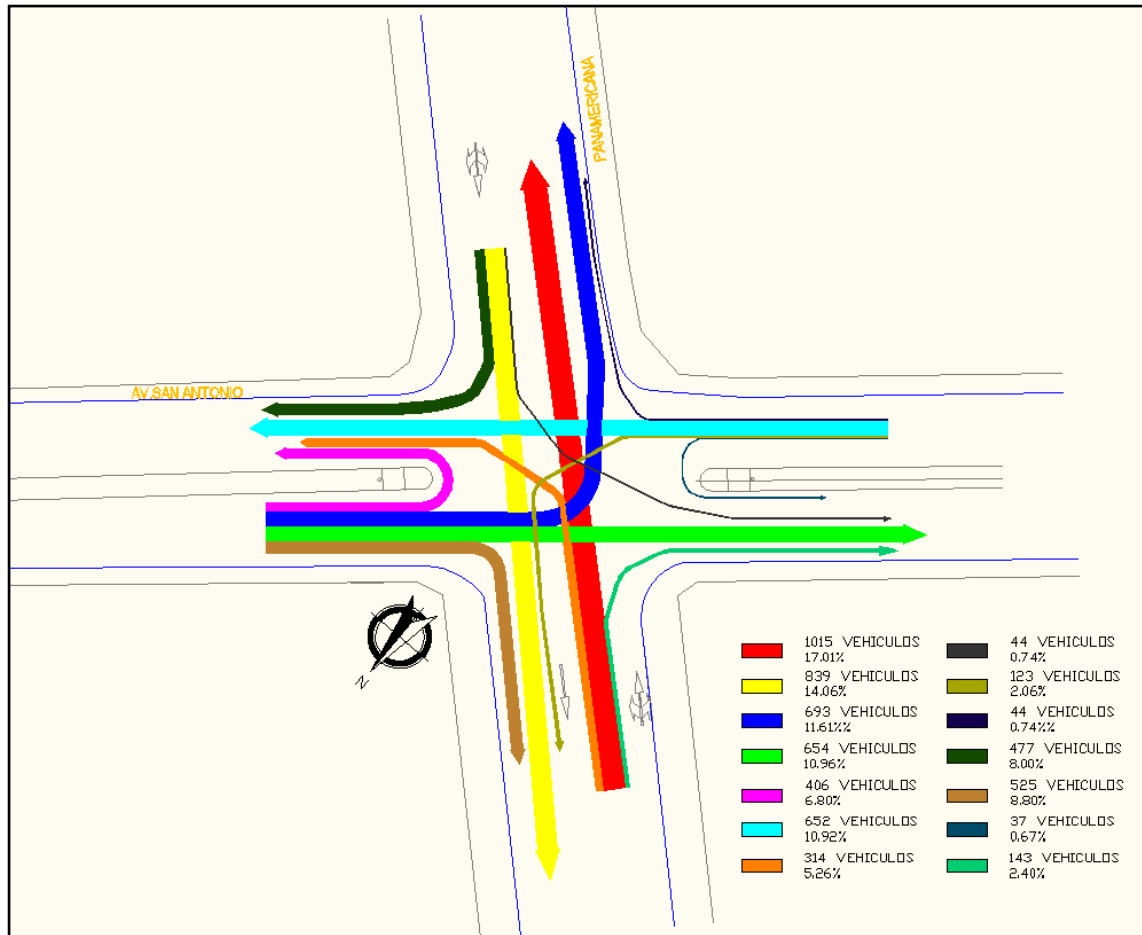
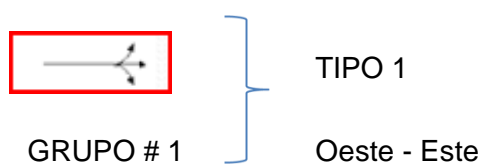


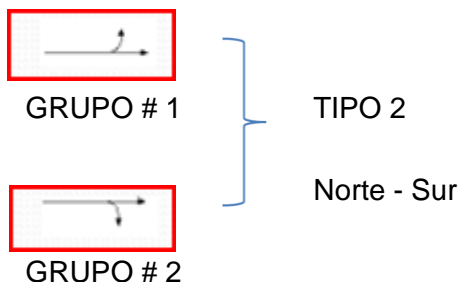
FIGURA No. 26: Diagrama de la Intersección. Flujo Vehicular Actual. FUENTE: El Autor.

4.1.6 Determinación del grupo de carriles

Del sentido O, se tiene 1 grupo.



Del sentido N, se tiene 2 grupos



4.1.7 Porcentaje de Vehículos (%)

4.1.7.1 Porcentaje de Vehículos pesados

N=	31	%
E=	33	%
S=	44	%
O=	16	%

4.1.7.2 Porcentaje de vehículos que giran a la izquierda

N=	21.68	%
E=	46.82	%
S=	6.80	%
O=	8.64	%

4.1.7.3 Porcentaje de buses que paran en la intersección

APROXIMACIÓN	VEHÍCULOS INFLUYEN	% DE BUSES	% DE BUSES QUE PARAN	TOT. BUSES PARAN
N=	61	10.00%	75.00%	5
E=	167	25.00%	75.00%	31
S=	90	7.00%	75.00%	5
O=	74	10.00%	75.00%	6

TABLA No. 12: Porcentaje de Buses que Paran en la Intersección.

FUENTE: El Autor.

4.1.8 Determinación del Nivel de servicio por carril y la demora de la Intersección utilizando el Flujo vehicular actual

No se analiza la intersección con flujo peatonal debido a que durante las fases de semáforo los peatones pueden cruzarla, debiendo hacerse una adecuada señalización horizontal.

Con los datos de volumen de tráfico de la hora pico, se realiza el análisis de la situación actual de la intersección y los resultados obtenidos tanto de la demora, del nivel de servicio como del grado de saturación actual se muestran a continuación, en el cual se puede observar un grado de saturación.

Con todos los datos, se realiza el procesamiento de datos con la utilización del software **SIDRA INTERSECTION 5.1**, obteniéndose la información siguiente

Una vez realizado la modelación de los datos, se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1.8.1 Nivel de servicio por carril y de la intersección.

ENTRADA	SENTIDO	SALIDA	SENTIDO	NIVEL DE SERVICIO
Panamericana	N	Av. San Antonio	E	B
Panamericana	N	Av. San Antonio	O	B
Panamericana	N	Panamericana	S	A
Panamericana	S	Av. San Antonio	E	B
Panamericana	S	Av. San Antonio	O	B
Panamericana	S	Panamericana	N	A
Av. San Antonio	E	Panamericana	N	E
Av. San Antonio	E	Panamericana	S	E
Av. San Antonio	E	Av. San Antonio	O	D
Av. San Antonio	O	Panamericana	N	C
Av. San Antonio	O	Panamericana	S	C
Av. San Antonio	O	Av. San Antonio	E	C

AÑO	CICLO SEMAFORO	NIVEL DE SERVICIO
2011	80 Seg.	C

TABLA No. 13: Nivel de Servicio por Carril y de la Intersección Año 2011.

FUENTE: El Autor.

4.1.8.2 La demora promedio:

DEMORA PROMEDIO	TIEMPO
Intersección	33.5 Seg.

TABLA No. 14: La Demora Promedio Año 2011.

FUENTE: El Autor.

4.1.9 Determinación del Nivel de servicio por carril y la demora de la Intersección utilizando el Flujo vehicular actual proyectado al año 2016. (Intersección con condiciones actuales)

Se utilizó la tasa de crecimiento automotriz del 5% para el periodo de análisis 2011-2016 y una tasa del 4.7% para el período de análisis 2016-2021.

Una vez proyectado los flujos de cada uno de los carriles, a un período de 5 años como se observa a continuación, la intersección podrá funcionar según los siguientes resultados.

Para lo que ingresamos los flujos proyectados de la intersección en el software SIDRA INTERSECTION 5.1

4.1.9.1 Nivel de servicio por carril y de la intersección.

ENTRADA	SENTIDO	SALIDA	SENTIDO	NIVEL DE SERVICIO
Panamericana	N	Av. San Antonio	E	B
Panamericana	N	Av. San Antonio	O	B
Panamericana	N	Panamericana	S	A
Panamericana	S	Av. San Antonio	E	B
Panamericana	S	Av. San Antonio	O	B
Panamericana	S	Panamericana	N	A
Av. San Antonio	E	Panamericana	N	F
Av. San Antonio	E	Panamericana	S	F
Av. San Antonio	E	Av. San Antonio	O	F
Av. San Antonio	O	Panamericana	N	D
Av. San Antonio	O	Panamericana	S	D
Av. San Antonio	O	Av. San Antonio	E	D

AÑO	CICLO SEMAFORO	NIVEL DE SERVICIO
2016	80 Seg.	F

TABLA No. 15: Nivel de Servicio por Carril y de la Intersección Año 2016.

FUENTE: El Autor.

Se puede comprobar que se baja el nivel de servicio de la intersección en estudio de “C” a “F”, lo cual se traduce en demoras en la intersección, y por ende costos de operación elevados.

4.1.9.2 La demora promedio:

DEMORA PROMEDIO	TIEMPO
Intersección	276.5 Seg.

TABLA No. 16: La Demora Promedio Año 2016.

FUENTE: El Autor.

4.1.10 Determinación del Nivel de servicio por carril y la demora de la Intersección utilizando el Flujo vehicular actual proyectado al año 2016. (Intersección con giro izquierdo protegido - viraje adelantado)

En vista que el giro izquierdo de la Av. San Antonio (Sentido Este-Oeste) – Panamericana a colas y estancamientos se procederá a verificar si el mismo necesita una fase propia, para lo que utilizaremos la siguiente expresión:

Verificar si giro lzq. > 240 vehículos/hora, tiene fase.

Según los datos proyectados, cumple la condición, por lo que se necesita la implementación de un giro izquierdo protegido.

Giros hacia la Izquierda:

- Permitido: Ceda el Paso.
- Protegido: Con semáforo en Verde.
- Exclusivo: Con Bahía de protección.

Se necesita fase para el giro, pero por la geometría de la intersección no se puede realizar la bahía de giro.

Una vez proyectado los flujos de cada uno de los carriles, a un período de 5 años ingresamos los mismos valores de la intersección en el software SIDRA INTERSECTION 5.1 incluyendo una fase adicional para el giro izquierdo protegido Av. San Antonio (Sentido Este-Oeste) – Panamericana. Obteniendo los siguientes resultados:

La intersección podrá funcionar según los siguientes resultados:

4.1.10.1 Nivel de servicio por carril y de la intersección.

ENTRADA	SENTIDO	SALIDA	SENTIDO	NIVEL DE SERVICIO
Panamericana	N	Av. San Antonio	E	C
Panamericana	N	Av. San Antonio	O	C
Panamericana	N	Panamericana	S	B
Panamericana	S	Av. San Antonio	E	B
Panamericana	S	Av. San Antonio	O	C
Panamericana	S	Panamericana	N	B
Av. San Antonio	E	Panamericana	N	B
Av. San Antonio	E	Panamericana	S	B
Av. San Antonio	E	Av. San Antonio	O	A
Av. San Antonio	O	Panamericana	N	C
Av. San Antonio	O	Panamericana	S	B
Av. San Antonio	O	Av. San Antonio	E	C

AÑO	CICLO SEMAFORO	NIVEL DE SERVICIO
2016	50 Seg.	B

TABLA No. 17: Nivel de Servicio por Carril y de la Intersección Año 2016.

FUENTE: El Autor.

Se puede comprobar que sube el nivel de servicio de la intersección en estudio de “F” a “B”, lo cual se traduce en reducción de demoras en la intersección, y por ende costos de operación aceptables.

4.1.10.2 La demora promedio:

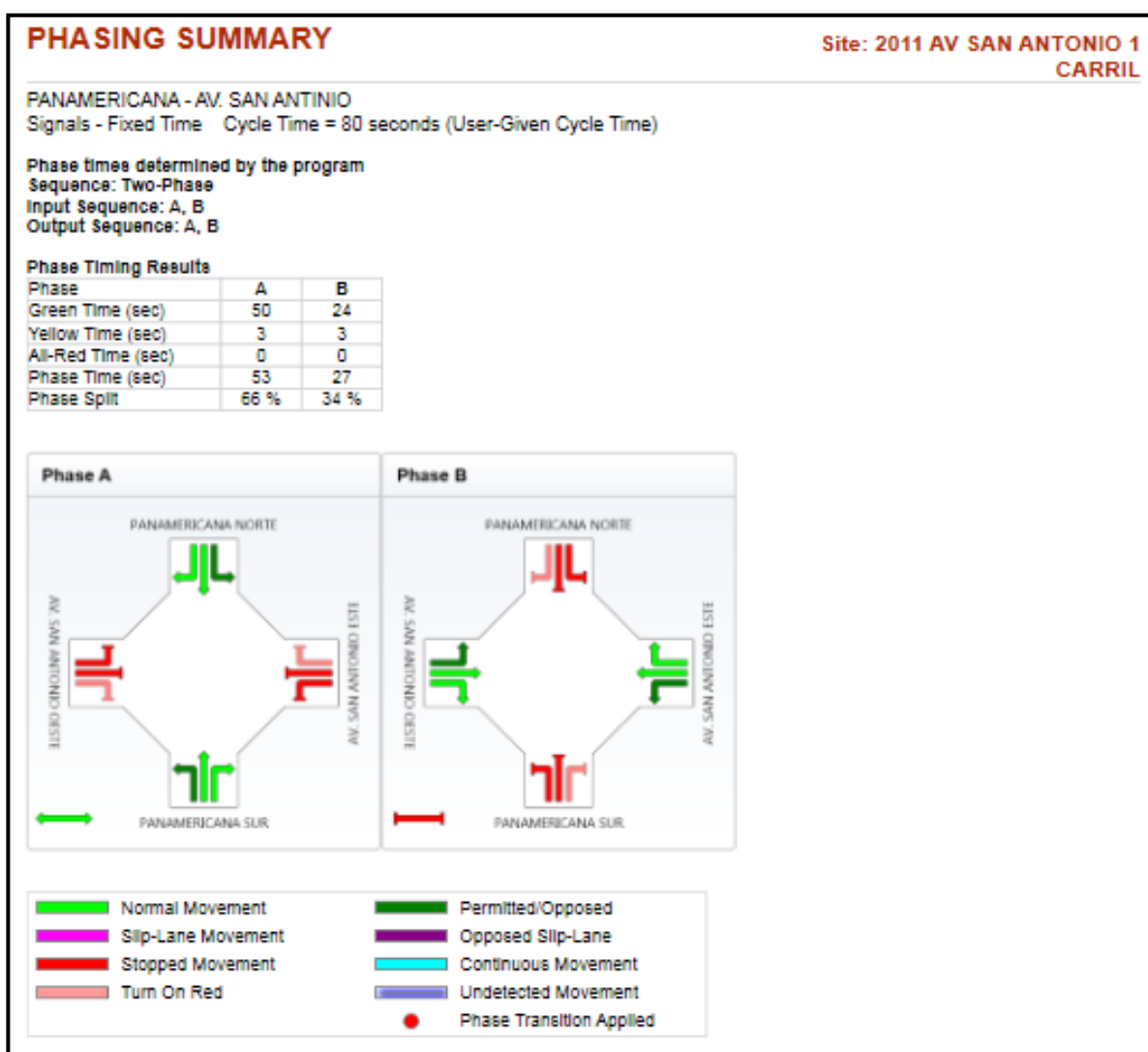
DEMORA PROMEDIO	TIEMPO
Intersección	15.5 Seg.

TABLA No. 18: La Demora Promedio Año 2016. **FUENTE:** El Autor.

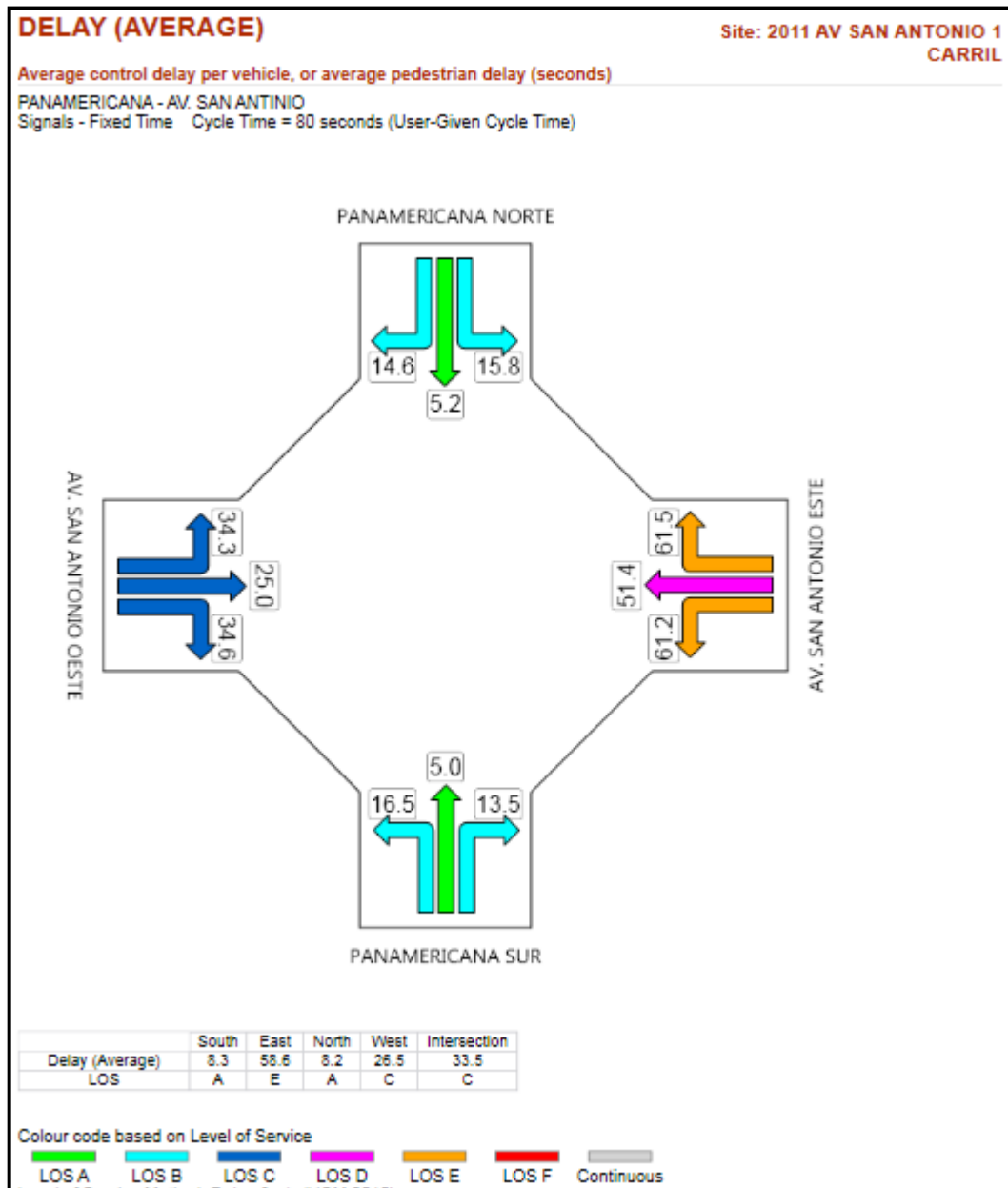
Una vez transcurrido este período de tiempo se deberá realizar una actualización de flujos.

4.1.11 Anexo: análisis con el software SIDRA INTERSECTION 5.1, situación actual.

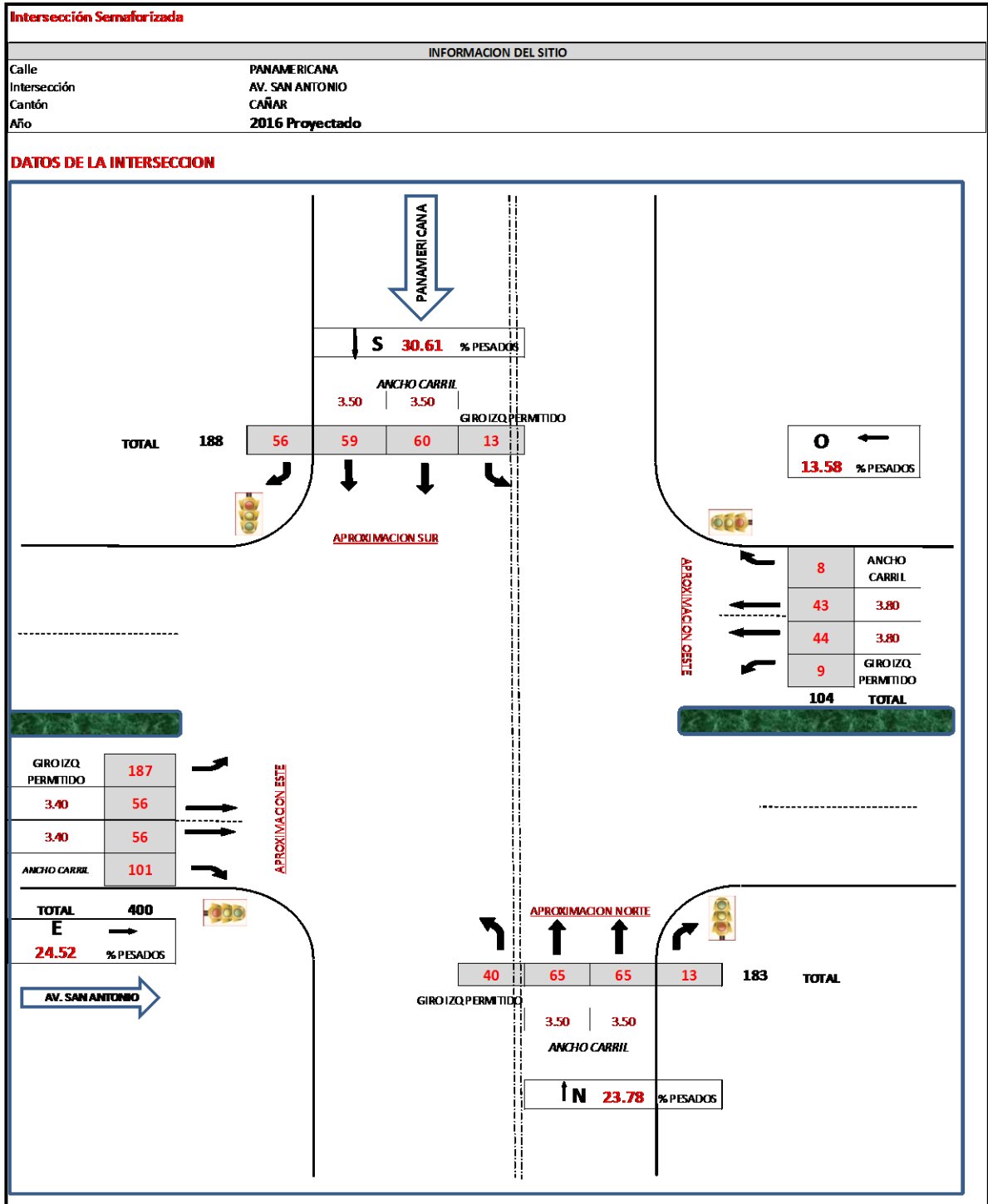
4.1.11.1 Resumen de la fase del semáforo



4.1.11.2 Demora promedio de la intersección

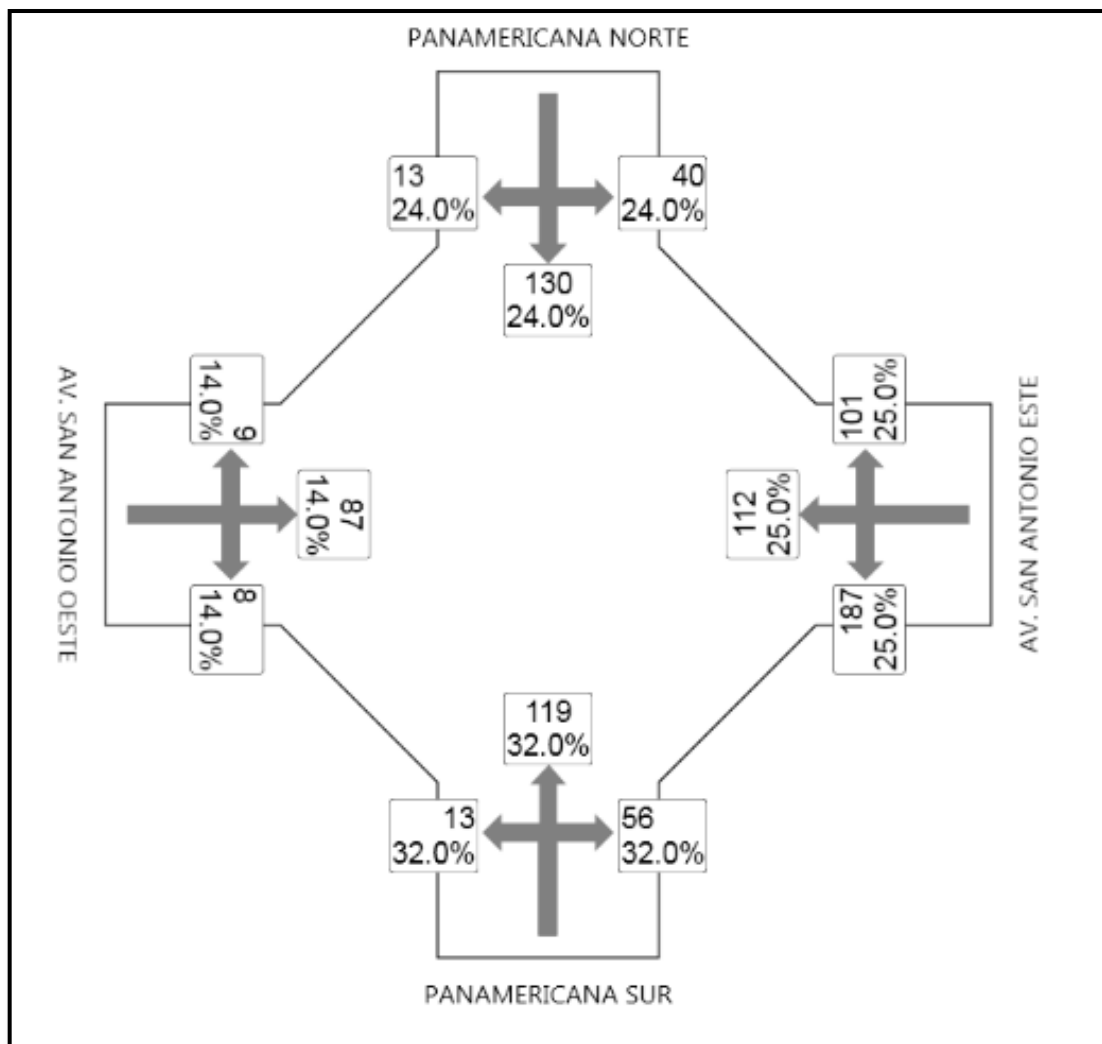


4.1.11.3 Flujo vehicular proyectado 5 años (2016)

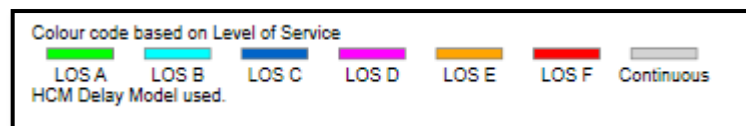
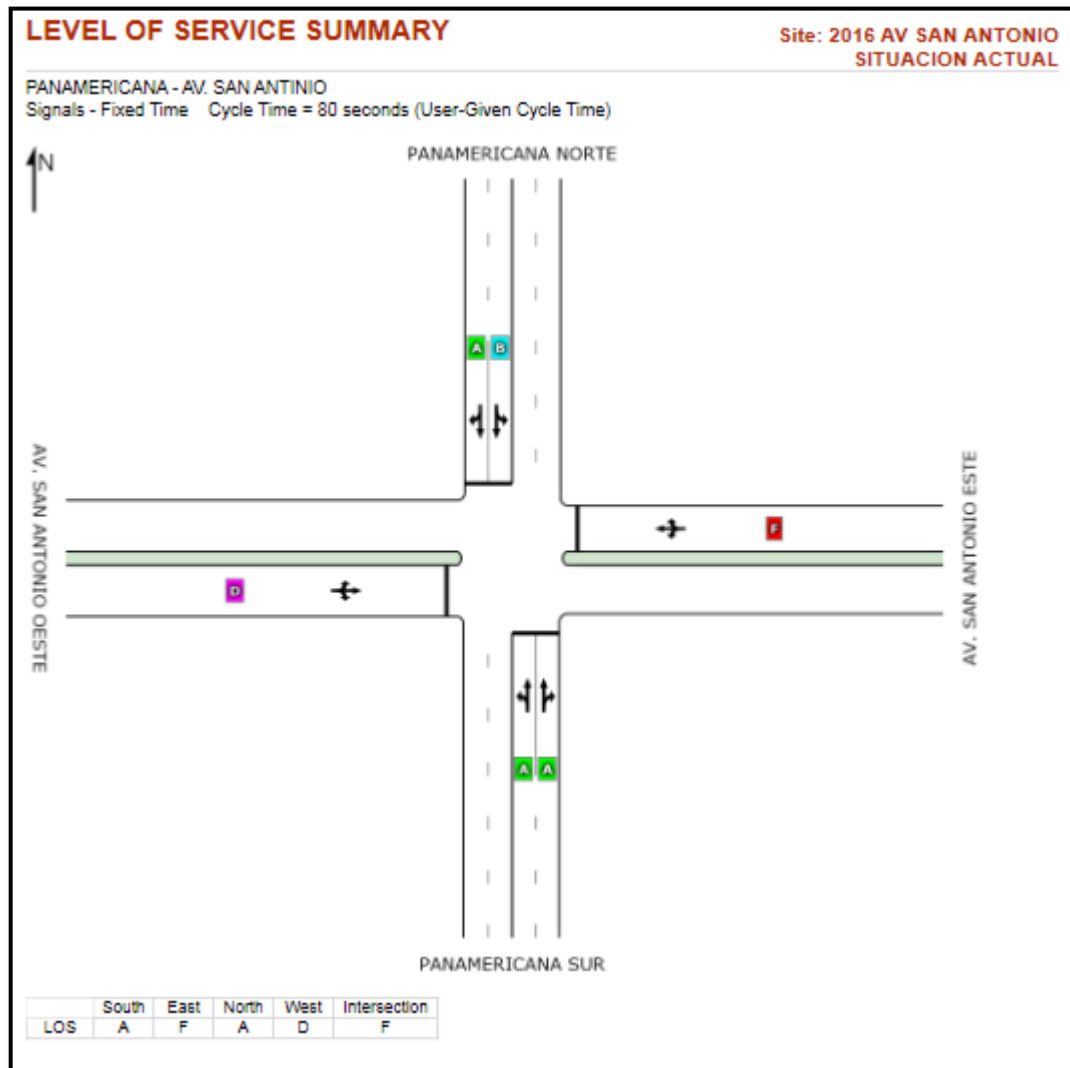


4.1.12 Anexo: análisis con el software SIDRA INTERSECTION 5.1, situación actual, flujo proyectado a 5 años

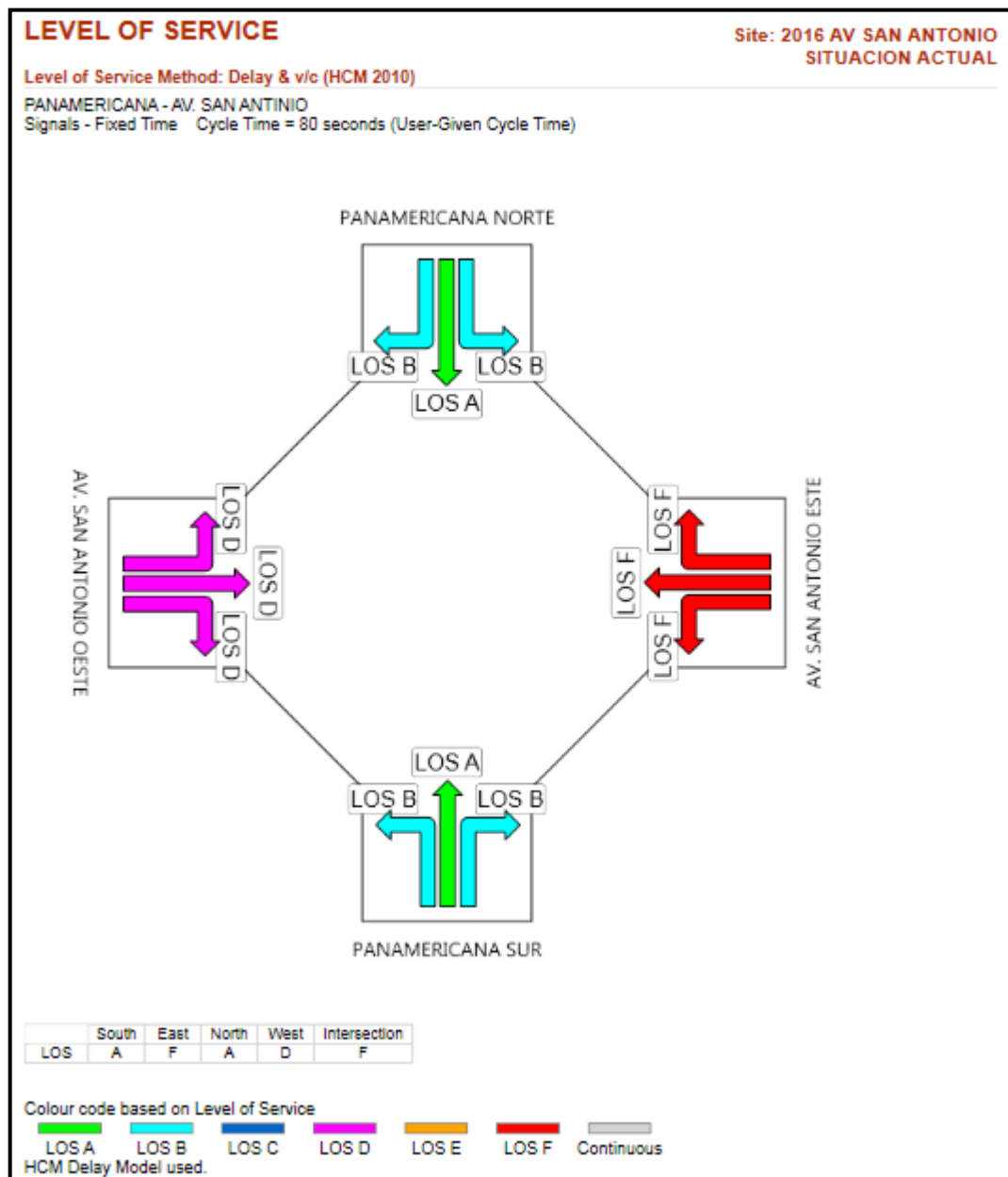
4.1.12.1 Resumen de los volúmenes de trafico y % de vehículos pesados



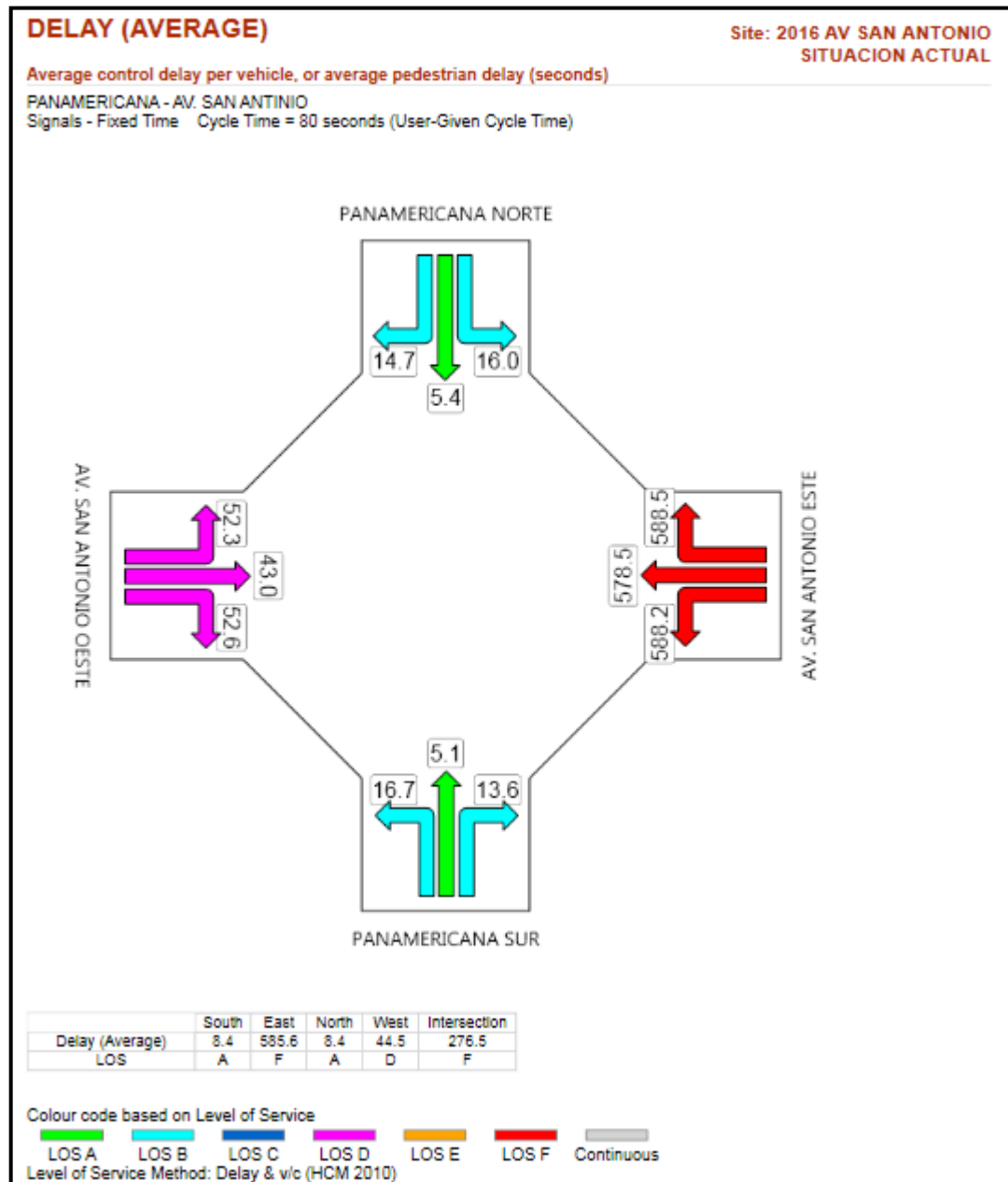
4.1.12.2 Resumen de niveles de servicio por carril



4.1.12.3 Nivel de servicio



4.1.12.4 Demora promedio



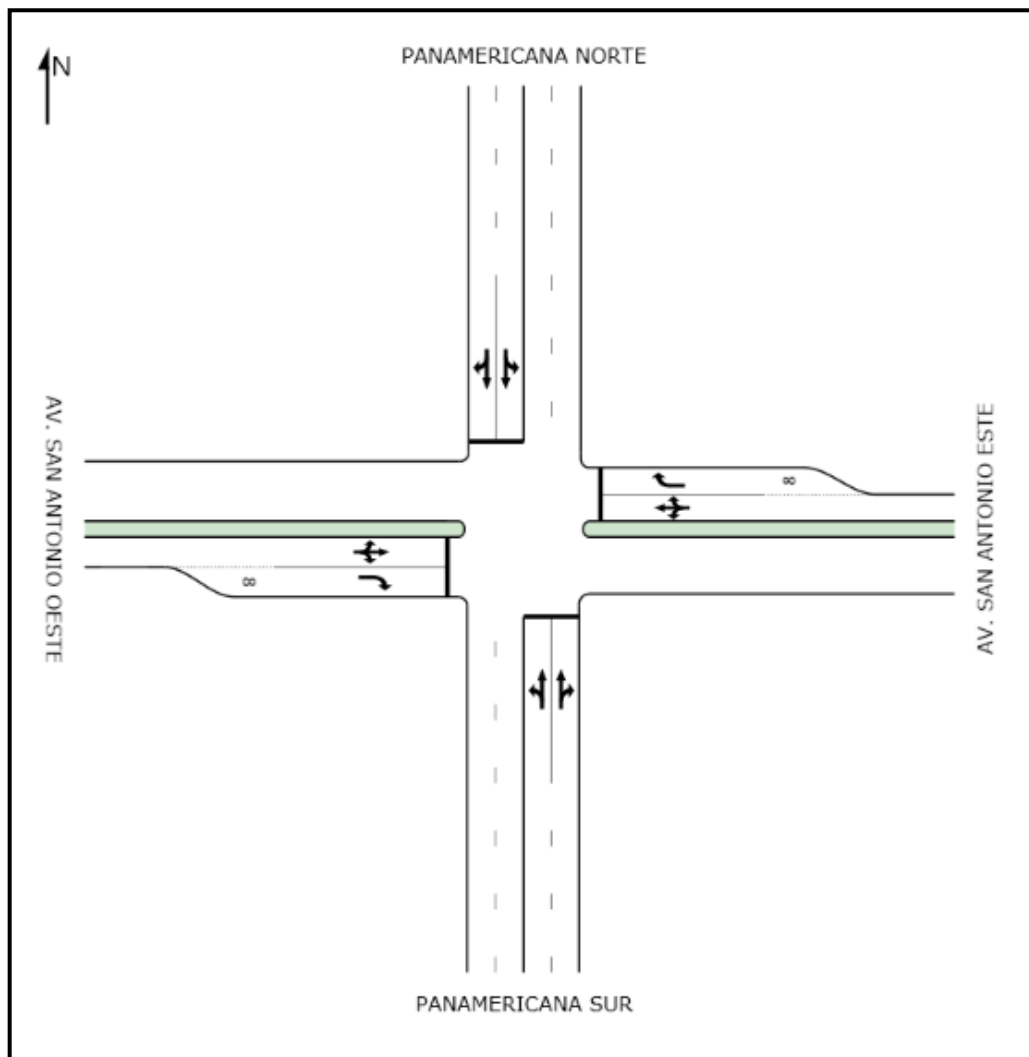
4.1.12.5 Resumen de la intersección

INTERSECTION SUMMARY		Site: 2016 AV SAN ANTONIO SITUACION ACTUAL
PANAMERICANA - AV. SAN ANTONIO		
Signals - Fixed Time Cycle Time = 80 seconds (User-Given Cycle Time)		
Intersection Performance - Hourly Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	951 veh/h	1141 pers/h
Percent Heavy Vehicles	25.0 %	
Degree of Saturation	2.221	
Practical Spare Capacity	-59.5 %	
Effective Intersection Capacity	428 veh/h	
Control Delay (Total)	73.06 veh-h/h	87.67 pers-h/h
Control Delay (Average)	276.5 sec	276.5 sec
Control Delay (Worst Lane)	585.6 sec	
Control Delay (Worst Movement)	588.5 sec	588.5 sec
Geometric Delay (Average)	4.9 sec	
Stop-Line Delay (Average)	271.7 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS F	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	65.0 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	598.0 m	
Total Effective Stops	1074 veh/h	1289 pers/h
Effective Stop Rate	1.13 per veh	1.13 per pers
Proportion Queued	0.75	0.75
Performance Index	134.2	134.2
Travel Distance (Total)	593.4 veh-km/h	712.1 pers-km/h
Travel Distance (Average)	624 m	624 m
Travel Time (Total)	82.4 veh-h/h	98.9 pers-h/h
Travel Time (Average)	312.1 sec	312.1 sec
Travel Speed	7.2 km/h	7.2 km/h
Cost (Total)	1311.35 \$/h	1311.35 \$/h
Fuel Consumption (Total)	233.2 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	588.7 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	0.976 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	31.49 kg/h	
NOx (Total)	1.081 kg/h	
Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010). Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements. HCM Delay Model used.		
Intersection Performance - Annual Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	456,522 veh/y	547,826 pers/y
Delay	35,070 veh-h/y	42,083 pers-h/y
Effective Stops	515,478 veh/y	618,573 pers/y
Travel Distance	284,830 veh-km/y	341,796 pers-km/y
Travel Time	39,573 veh-h/y	47,487 pers-h/y
Cost	629,446 \$/y	629,446 \$/y
Fuel Consumption	111,919 L/y	
Carbon Dioxide	282,564 kg/y	
Hydrocarbons	469 kg/y	
Carbon Monoxide	15,116 kg/y	
NOx	519 kg/y	

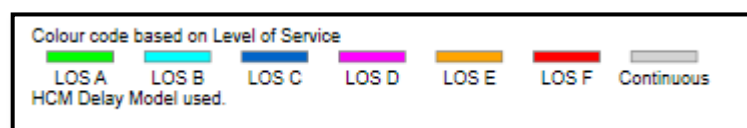
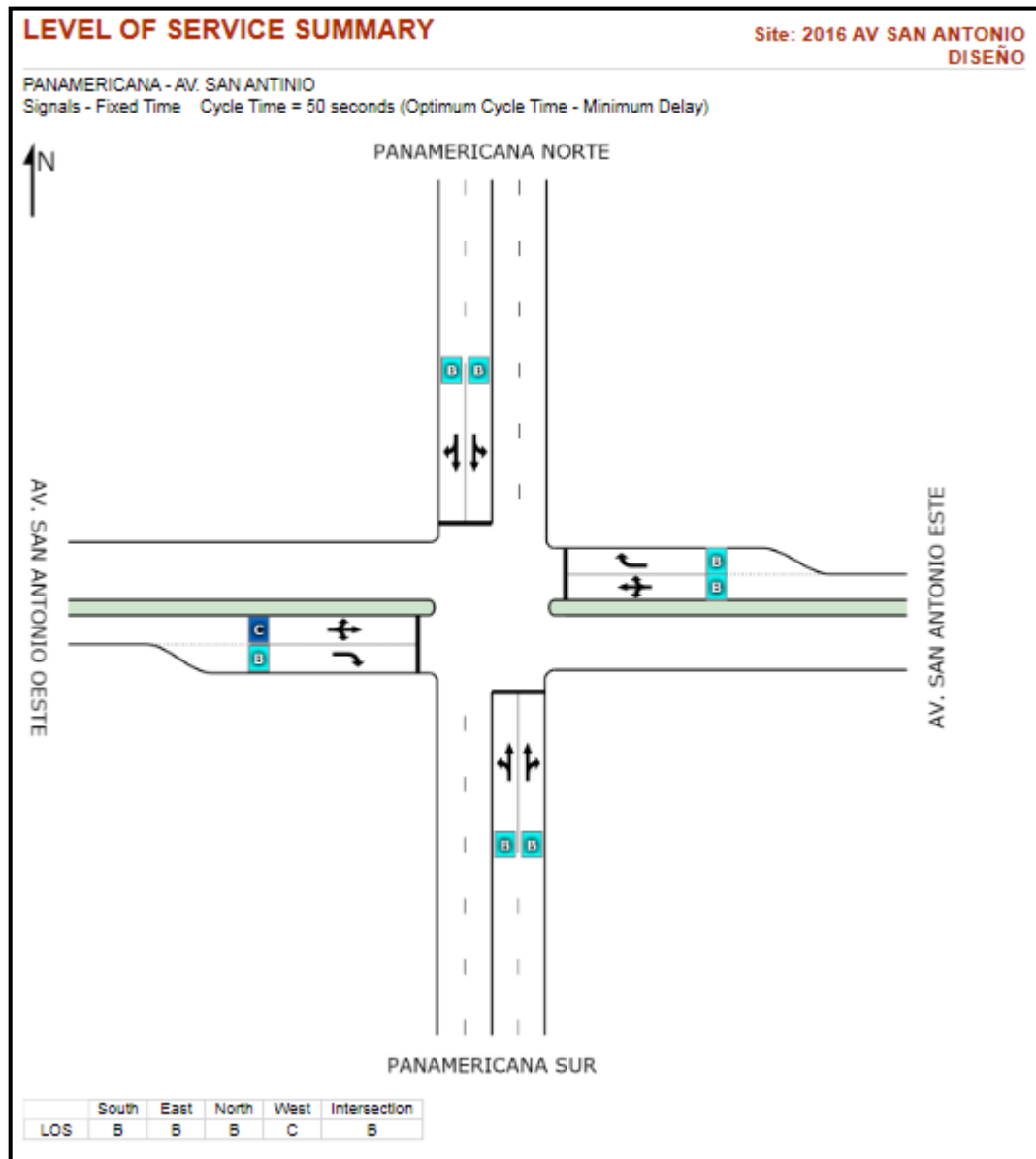
4.1.13 Anexo: análisis con el software SIDRA INTERSECTION 5.1, flujo proyectado a 5 años, giro izquierdo protegido

Con giro izquierdo protegido en la aproximación av. San Antonio en el sentido este-oeste y prohibición de estacionar a una distancia de 8 metros antes de la intersección.

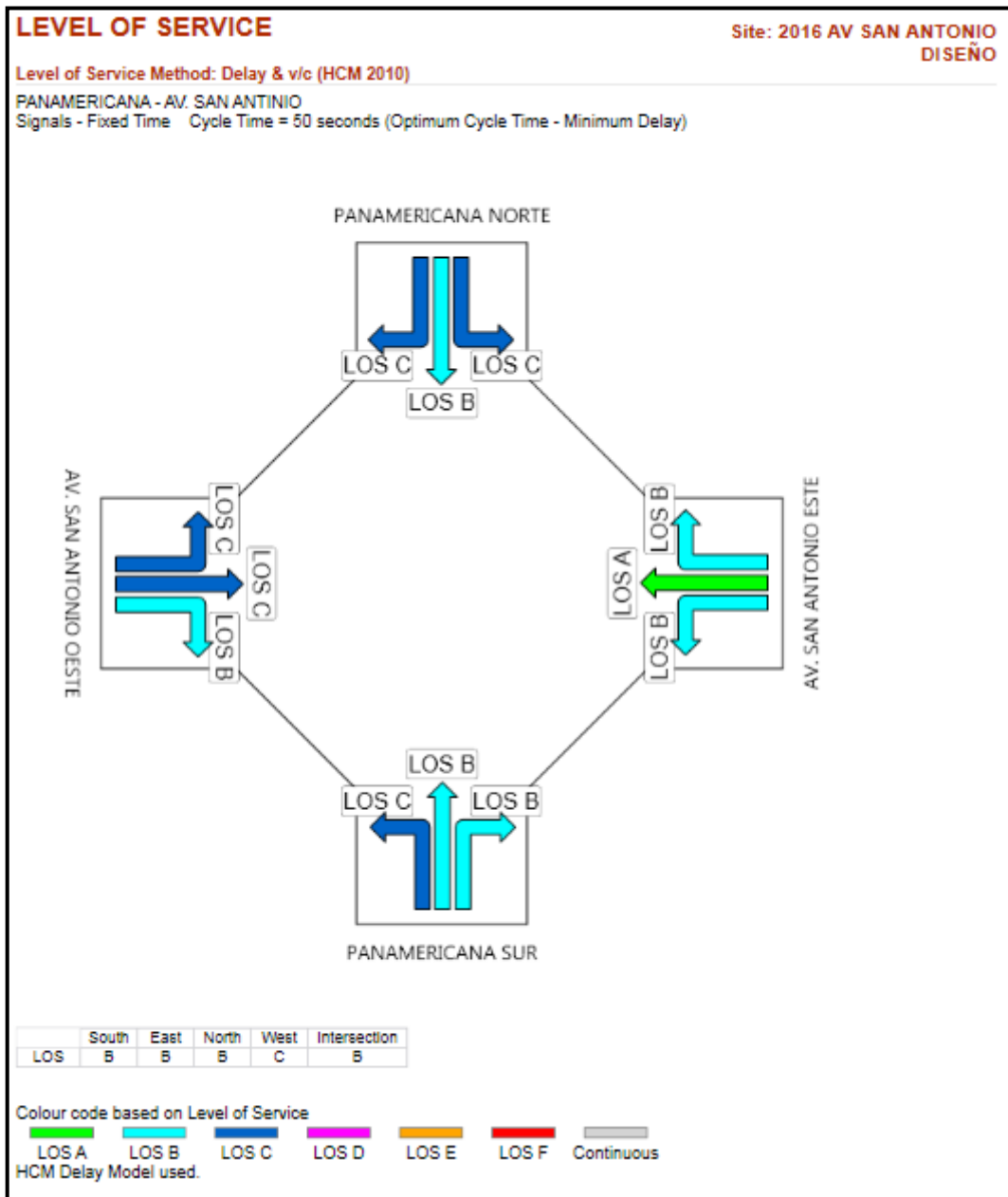
4.1.13.1 Disposición de las aproximaciones, carriles y giros



4.1.13.2 Resumen de niveles de servicio por carril

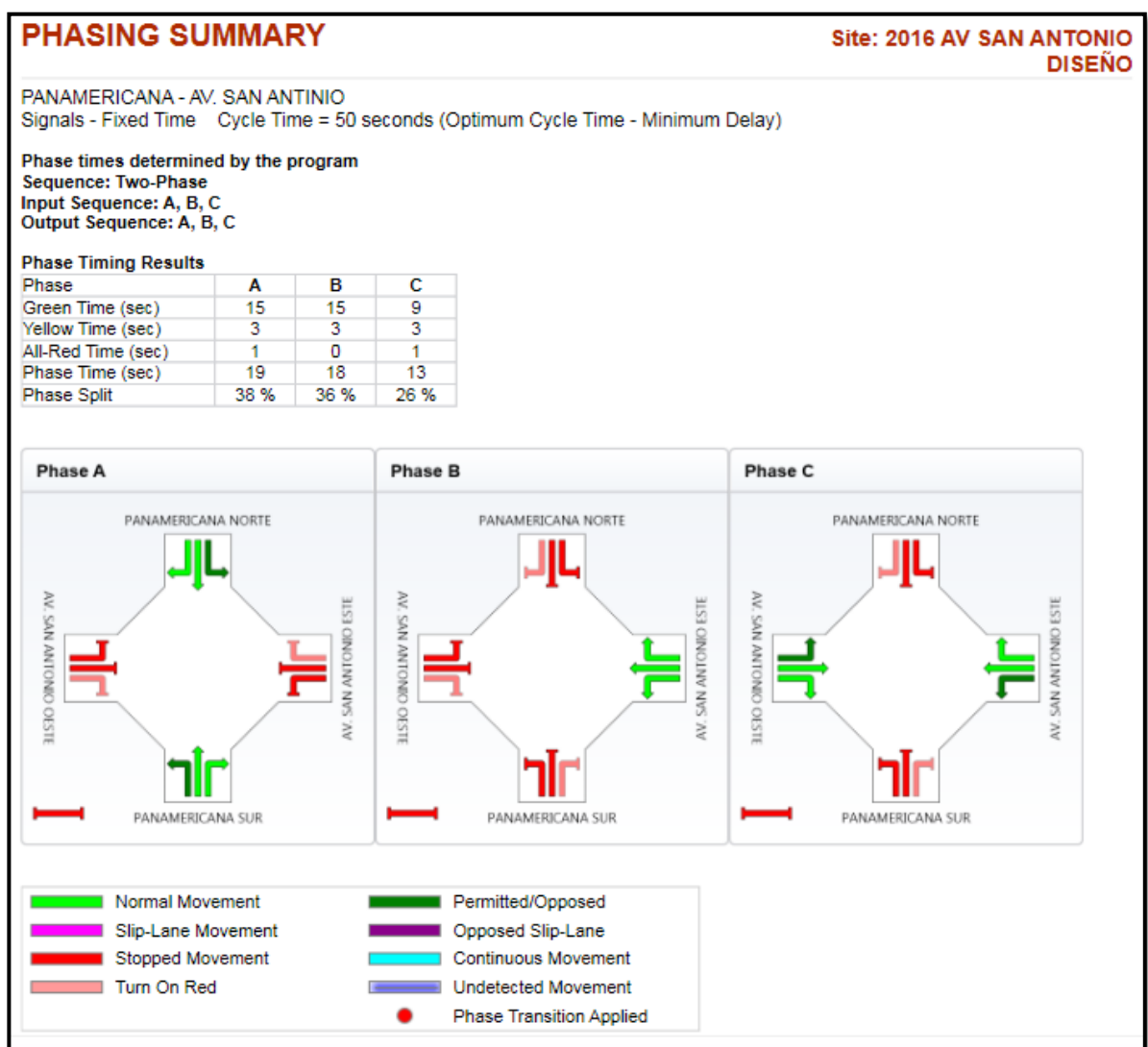


4.1.13.3 Nivel de servicio

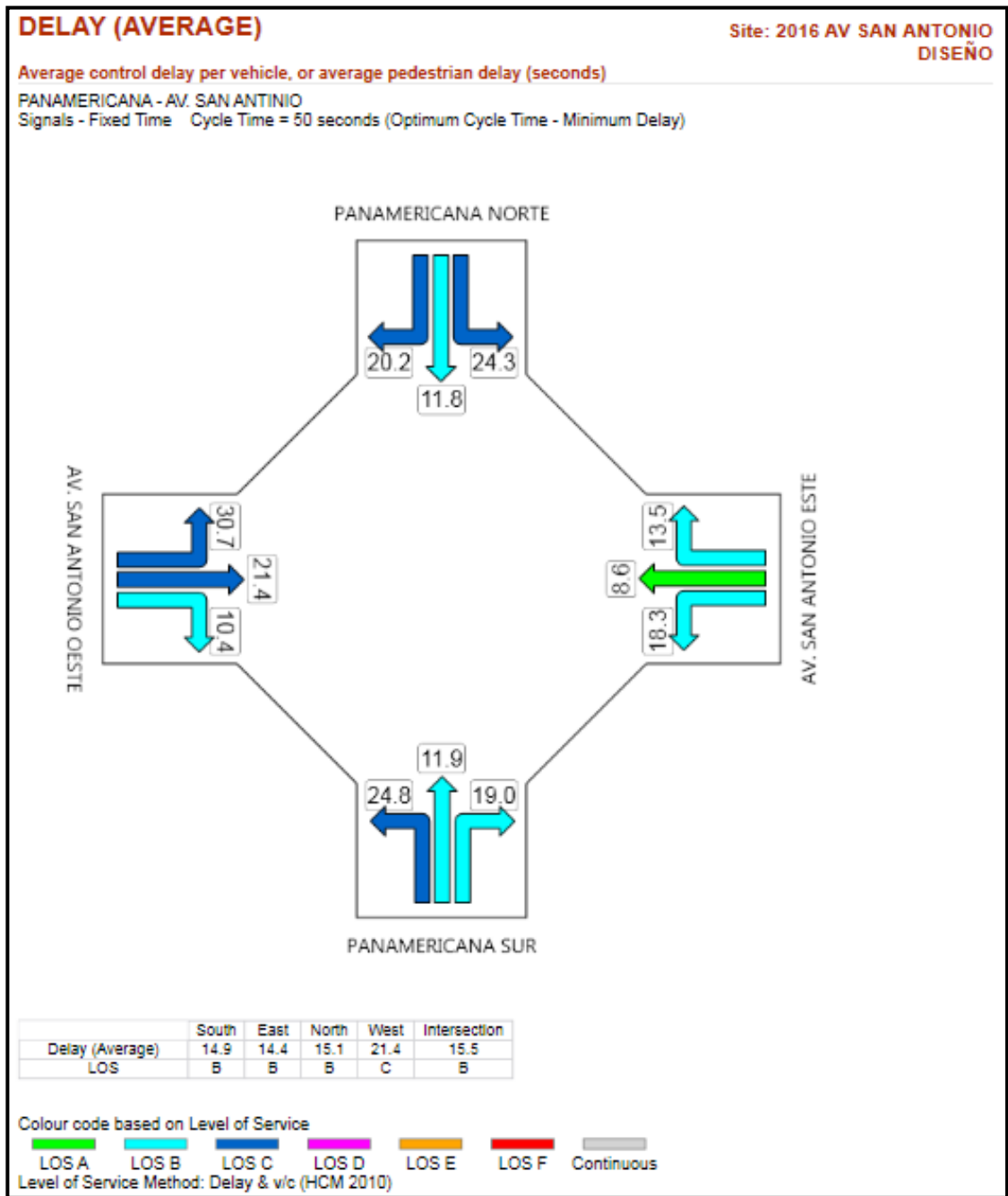


4.1.13.4 Resumen de fases del semáforo

En la presente tabla se pueden apreciar los datos, que corresponden a cada uno de los ciclos del semáforo, con diferenciación de verde, amarillo y rojo de cada una de las fases, que corresponden a la programación de los semáforos, para que entren en funcionamiento.



4.1.13.5 Demora promedio



4.1.13.6 Resumen de la intersección

INTERSECTION SUMMARY		Site: 2016 AV SAN ANTONIO DISEÑO
PANAMERICANA - AV. SAN ANTONIO		
Signals - Fixed Time Cycle Time = 50 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)		
Intersection Performance - Hourly Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	951 veh/h	1141 pers/h
Percent Heavy Vehicles	25.0 %	
Degree of Saturation	0.433	
Practical Spare Capacity	108.0 %	
Effective Intersection Capacity	2198 veh/h	
Control Delay (Total)	4.09 veh-h/h	4.91 pers-h/h
Control Delay (Average)	15.5 sec	15.5 sec
Control Delay (Worst Lane)	22.3 sec	
Control Delay (Worst Movement)	30.7 sec	30.7 sec
Geometric Delay (Average)	4.9 sec	
Stop-Line Delay (Average)	10.6 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS B	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	5.0 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	46.1 m	
Total Effective Stops	672 veh/h	806 pers/h
Effective Stop Rate	0.71 per veh	0.71 per pers
Proportion Queued	0.69	0.69
Performance Index	26.0	26.0
Travel Distance (Total)	593.4 veh-km/h	712.1 pers-km/h
Travel Distance (Average)	624 m	624 m
Travel Time (Total)	13.5 veh-h/h	16.3 pers-h/h
Travel Time (Average)	51.3 sec	51.3 sec
Travel Speed	43.6 km/h	43.6 km/h
Cost (Total)	368.33 \$/h	368.33 \$/h
Fuel Consumption (Total)	127.0 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	320.8 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	0.417 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	27.39 kg/h	
NOx (Total)	0.923 kg/h	
Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).		
Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements.		
HCM Delay Model used.		
Intersection Performance - Annual Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	456,522 veh/y	547,826 pers/y
Delay	1,962 veh-h/y	2,355 pers-h/y
Effective Stops	322,352 veh/y	386,822 pers/y
Travel Distance	284,830 veh-km/y	341,796 pers-km/y
Travel Time	6,503 veh-h/y	7,803 pers-h/y
Cost	176,801 \$/y	176,801 \$/y
Fuel Consumption	60,979 L/y	
Carbon Dioxide	153,962 kg/y	
Hydrocarbons	200 kg/y	
Carbon Monoxide	13,145 kg/y	
NOx	443 kg/y	

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Luego de haber culminado el presente trabajo investigativo concluyo que:

Los datos de campo levantados, tienen una influencia directa sobre la modelación, se pudo evidenciar que los resultados obtenidos con EL software SIDRA INTERSECTION 5.1, presentaron alta confiabilidad por el desempeño del modelo implementado.

Existiendo datos que por defecto presenta el programa, los cuales deben ser cuidadosamente utilizados, con un criterio técnico adecuado. Pero debido a que el alcance del presente trabajo no abarca el estudio de la totalidad de éstos, Se deja pendiente para que futuros estudios, puedan tomar como base esta tesis y desarrollar a partir de ella nueva resultados, complementando y mejorando los ya obtenidos.

El modelo implementado se acopló a características propias de la zona, siendo exitosamente desarrollado, pero existen datos que deben ser introducidos dependiendo de cada una de las intersecciones, como de la naturaleza del tráfico en cada una de las ciudades y regiones del país.

En cuanto a los datos del conteo automático, se utilizaron los de otra intersección de la ciudad de Cuenca, que si bien es cercana y de características similares, el autor recomienda realizarse conteos automáticos propios del sitio.

La respuesta de modelación se presentó favorable con el uso de SIDRA INTERSECTION 5.1, pero debe hacerse comprobaciones mediante la aplicación de procedimientos empíricos del HCM, para poder calibrar el modelo y que sirvan como investigaciones previas con las cuales se podría contrastar información.

La generación de diversos escenarios (diferentes tipos de intersecciones que es posible realizar con SIDRA INTERSECTION 5.1) brinda la posibilidad de cambiar de un tipo a otro y poder escoger la mejor opción, siendo éste un tema sugerido para futuras investigaciones, comparando la situación real con posibles cambios en el futuro.

De acuerdo a esta investigación, se ha observado que solo la importancia de un levantamiento detallado y técnico de datos, nos dará la oportunidad de llegar a resultados confiables. Los escenarios generados dan resultados muy cercanos a la concepción real del problema, por lo que los resultados obtenidos son satisfactorios.

DEL CASO DE APLICACIÓN:

Luego de analizar la situación actual de la intersección Av. San Antonio y Panamericana es necesario realizar la prohibición de giro izquierdo y giro en “U”, en el sentido Av. San Antonio (Sentido Este-Oeste) – Panamericana – Av. San Antonio y reasignar los volúmenes de estos giros al giro Av. San Antonio – Panamericana en el sentido Norte-Sur.

Es necesaria además una adecuada señalización horizontal, para que los peatones puedan cruzar la vía por los sitios especificados, vertical para información de

conductores y de esta forma puedan contribuir al ordenamiento del tránsito en la intersección.

En la situación actual el nivel de servicio puede ser mejorado realizando algunas restricciones vehiculares, como prohibir el giro en “U” de la Av. San Antonio (Sentido Este-Oeste) y en la Panamericana.

Estos dos movimientos generan demoras para el flujo del carril izquierdo como para el flujo contrario de circulación, debido a que no existe una fase de los semáforos que los protejan, frente a esta situación los conductores que pretenden realizar dichas maniobras, no tienen otra alternativa que detener su vehículo hasta encontrar una brecha que les permita realizarla, lo cual genera colas en su carril y resulta un problema de seguridad vial al exponerse al riesgo del flujo contrario, que puede ser evitable con las medidas de restricción indicadas.

Esta intersección en particular debe ser reevaluada una vez que entre en funcionamiento la nueva terminal terrestre de la Ciudad de Cañar, el mismo que se encuentra en fase de construcción y su ubicación está a aproximadamente 500 metros.

En la situación actual el nivel de servicio puede ser mejorado realizando algunas restricciones vehiculares, como prohibir el estacionamiento en las proximidades a la intersección.

Prohibir el estacionamiento de vehículos en las aproximaciones desde cada una de las esquinas, con esto se podrá contar con una zona para poder realizar la señalización

horizontal de personas, como mejorar la circulación vehicular pudiendo utilizar completamente el área para giros.

La implementación de una adecuada programación de los semáforos, permitirá una mejora en el flujo de la intersección, reduciendo los tiempos de espera de los vehículos y permitiendo una mayor fluidez del mismo.

Se debe controlar la parada momentánea que varios vehículos, especialmente buses interprovinciales realizan en las proximidades a lo largo de la Panamericana tanto antes como después de la intersección, lo cual obstaculiza el libre flujo de los vehículos, llegando incluso a bloquear por momentos toda la intersección.

5.2 Recomendaciones

A partir de la presente investigación, surgen inquietudes, una de ellas radica en estudiar las características reales del tráfico de la zona y no utilizar parámetros que por defecto se han impuesto en la modelación.

Otra, es la de realizar modelaciones de este tipo pero implementando sistemas de monitoreo, para lograr procesamiento adecuado a los registros de información.

Continuar con la investigación y el impulso para la generación de modelos propios para este tipo de intersecciones, basándose en la metodología desarrollada en esta investigación, para tener varios elementos de juicio al momento de tomar decisiones, y que ésta se convierta en una herramienta de análisis y evaluación.

Los resultados obtenidos de la modelación deben ser interpretados adecuadamente y enfocados a la planificación y toma de decisiones de manejo del tráfico en las ciudades.

Se recomienda difundir los resultados de las investigaciones a fin de lograr un conocimiento masivo sobre la evaluación de intersecciones semaforicas. No olvidemos que las intersecciones de este tipo son muy frecuentes y por lo tanto de mucha importancia para lograr que el flujo de vehículos y peatones sea óptimo, disminuyendo demoras y logrando que las ciudades sean más productivas.

5.1 BIBLIOGRAFÍA

- Adalpe, C., Rodolfo, & Jalle, A. (1976). *Los Semáforos y el Control Dinámico del Tránsito, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A México 1976*. México.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones*. México: Alfa omega.
- Official., A. A. (s.f.). *Public Roads of the Past*.
- PUCE. (2008-2010). Bibliografía recibida durante la Maestría de Transporte. Quito.
- Rivera, J. (2007). *Metodología simplificada para el análisis de intersecciones urbanas a ser semaforizadas con semáforos de tiempo fijo en pequeñas localidades*. Buenos Aires: LEMaC-UTN.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. EEUU.
- U.S Government Printing Office. (2003). *Manual o Uniform Traffic Control Divices for Streets and Highways*. Washington D.C.
- Manual onUniformTrafficControl Devices(MUTCD), FHWA, EEUU(<http://mutcd.fhwa.dot.gov/>)
- Manual de señalización de tránsito, Cap.4, Conaset, Chile (<http://www.conaset.cl>)
- HCM 2000, TRB, cap. 10,16
- Webster, Cobbe, TrafficSignals, RRL TechnicalPaper56, UK
- Cal y Mayor, Ingeniería de Tránsito 7a Edicion, Alfaomega, México, 1994
- Salter, HighwayTrafficAnalysisand Design, Palgrave, GB, 1996