



RESUMEN

Para el diseño de semáforos de la calle Mariscal Lamar entre Manuel Vega y Tarqui, se utilizó el método de Webster y Cobbe, para lo cual se requiere conocer: el volumen vehicular que tienen las aproximaciones a las intersecciones y su composición, el porcentaje de vehículos que giran y los que continúan recto, la geometría de la intersección para obtener el flujo de saturación de cada aproximación.

Se realizó un levantamiento de la siguiente información: geometría de la vía, conteos volumétricos con su composición, conteos de vehículos que giran y los que continúan la calle Mariscal Lamar.

Luego se determinó: el tipo de control recomendado de la intersecciones (semáforos, redondel, prioridad, paso a desnivel), el diseño del tiempo de ciclo óptimo de las 4 intersecciones con mayor flujo de vehículos del tramo de calle Mariscal Lamar en estudio y la sincronización de los semáforos para obtener un flujo vehicular continuo. El ciclo óptimo y la sincronización se diseñaron para 3 velocidades 30km/h, 40km/h y 50km/h, con el objeto de hallar 2 tiempos de ciclos, uno para el día donde se presenta la hora de mayor tráfico y otro para la noche donde el flujo disminuye y se puede viajar a velocidades más altas.

Calculados los tiempos óptimos de ciclos y la sincronización semafórica, se realizó una comparación con los tiempos actuales, los cuales estuvieron dentro del rango recomendado por el método utilizado. Se realizaron recomendaciones para que el método empleado actualmente en el control de la semaforización funcione más eficientemente.

PALABRAS CLAVE

Semáforos, Lamar, Webster, Cobbe, Ciclo Optimo, Flujo de Saturación, Tiempo Rojo, Tiempo Verde, Sincronización, fases.



ÍNDICE

DISEÑO DE LA RED SEMAFÓRICA DE LA CALLE MARISCAL LAMAR DESDE LA CALLE MANUEL VEGA HASTA LA CALLE TARQUI

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LOS SEMAFOROS	10
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	11
1.2. OBJETIVOS DE LA UTILIZACION DE LOS SEMÁFOROS	13
1.3. COMPONENTES DE LOS SEMAFOROS	13
1.4. PARAMETROS DE CONTROL EN LOS SEMAFOROS.....	15
1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SEMAFOROS.....	16
1.5.1. SEMAFOROS DE TIEMPO FIJO	17
1.5.2. SELECCIÓN DE MECANISMOS DE CONTROL	18
1.6. CALCULOS DE LOS TIEMPOS DEL SEMAFORO.....	19
1.6.1. INTERVALO DE CAMBIO DE FASE	20
1.6.2. LONGITUD DEL CICLO	22
1.6.3. VEHICULOS EQUIVALENTES	22
1.6.4. FLUJO DE SATURACIÓN Y TIEMPO PERDIDO	26
1.7. COORDINACION DE LOS SEMÁFOROS (SINCRONIZACIÓN)	29
1.7.1. SISTEMAS DE COORDINACIÓN	30
1.7.2. REQUISITOS GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS COORDINADOS	32
1.7.3. DIAGRAMA ESPACIO – TIEMPO	33
CAPÍTULO 2: INFORMACION A CERCA DE LOS SEMÁFOROS DE LA CALLE MARISCAL LAMAR AL 3 DE AGOSTO - 2012	34



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.	UBICACIÓN, TIPO, VISIBILIDAD.....	35
2.2.	DISTANCIAS ENTRE PUNTOS DE COLISIÓN E INTERVALOS DE CAMBIO DE FASE	35
2.3.	OBTENCIÓN DE TIEMPOS DE CICLOS COMPLETOS.....	37
CAPÍTULO 3: CAPACIDAD DE LAS INTERSECCIONES EN ESTUDIO		40
3.1.	CONTEO VEHICULAR EN CADA INTERSECCIÓN Y CÁLCULO DEL FADE (Flujo de automóviles directos equivalentes)	40
3.2.	APLICACIÓN DE LA NORMATIVA DEL REINO UNIDO PARA DETERMINAR EL TIPO DE CONTROL RECOMENDADO PARA CADA INTERSECCIÓN.	44
3.3.	CAPACIDAD DE LAS APROXIMACIONES A CADA INTERSECCIÓN ...	47
CAPÍTULO 4 : CÁLCULOS TEÓRICOS DE LOS PARÁMETROS DE CADA SEMÁFORO		54
4.1.	CÁLCULO TEÓRICO DEL NÚMERO DE FASES PARA CADA SEMÁFORO Y LA SECUENCIA DE LAS MISMAS	54
4.2.	CÁLCULO TEÓRICO DE LOS TIEMPOS DE CICLO ÓPTIMOS PARA LOS SEMÁFOROS DE LAS INTERSECCIONES DE MAYOR DEMANDA	56
4.2.1.	CÁLCULO DE FLUJOS DE SATURACIÓN.....	57
4.2.2.	CÁLCULO DE TIEMPOS PERDIDOS E INTERVALOS DE CAMBIO DE FASE	57
4.2.3.	CÁLCULO DE TIEMPOS DE CICLO ÓPTIMO	58
4.2.4.	CÁLCULO DE TIEMPO EFECTIVO DE VERDE	63
4.3.	REPARTO DEL TIEMPO DE CICLO ENTRE FASES.....	63
4.3.1.	Asignación del tiempo de luz verde	64
4.3.2.	Asignación del tiempo de luz roja	65
CAPÍTULO 5: SINCRONIZACIÓN DE LOS SEMÁFOROS		66



UNIVERSIDAD DE CUENCA

5.1. CÁLCULO DEL TIEMPO DE DESFASE ÓPTIMO ENTRE SEMÁFOROS CONSECUTIVOS A LO LARGO DE LA VÍA.....	66
5.2. REALIZACIÓN DEL MODELO BÁSICO DEL FLUJO DE SATURACIÓN	67
5.3. DIAGRAMA TIEMPO - ESPACIO	69
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
6.1. COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO CON LOS TEÓRICOS...	73
6.1.1. TIEMPOS DE CICLOS.....	73
6.1.2. TIEMPOS INTER – VERDES	74
6.1.3. PERÍODOS “TODO ROJO”	75
6.1.4. TIEMPOS “EFECTIVOS DE VERDE”	75
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
7.1. ALTERNATIVAS PARA DAR UN FLUJO DE VEHÍCULOS ÓPTIMO.....	77



UNIVERSIDAD DE CUENCA

5



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Gustavo Andrés Wazhima Clavijo**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **Ingeniero Civil**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Gustavo Andrés Wazhima Clavijo

0104627799

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

6



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Jorge Estuardo Carrasco Avendaño**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Jorge Estuardo Carrasco Avendaño

0104738570

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

7



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Gustavo Andrés Wazhima Clavijo** certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Gustavo Andrés Wazhima Clavijo

0104627799

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

8



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Jorge Estuardo Carrasco Avendaño**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Jorge Estuardo Carrasco Avendaño

0104738570

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

9



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE LA RED SEMAFÓRICA DE LA CALLE MARISCAL LAMAR DESDE LA CALLE MANUEL VEGA HASTA LA CALLE TARQUI

Monografía previa a la obtención del
Título de INGENIERO CIVIL

AUTORES: **Jorge Carrasco Avendaño**
Gustavo Wazhima Clavijo

DIRECTOR: **Ing. Jaime Guzmán Crespo.**

CUENCA – ECUADOR

2012

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo

1. CAPITULO 1

GENERALIDADES DE LOS SEMAFOROS

Se denominan semáforos a todos los aparatos reguladores del tránsito en las calles accionados por corriente eléctrica que utilizan lentes iluminadas para exhibir sus indicaciones. Las instrucciones del semáforo se pueden complementar mediante el uso de señales y demarcaciones. Son aparatos para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptados, como lo son el verde, el ámbar y el rojo para el paso vehicular¹ y para el paso de peatones se utilizan dispositivos que emiten sonidos que indican cuando se puede pasar una vía con seguridad.

La función principal de un semáforo en el control de una intersección es dar el paso alternativamente a los distintos grupos de vehículos y/o peatones, de tal manera que éstos pasen a través de la intersección con un mínimo de problemas, riesgos y demoras.

Una definición adoptada en el Ecuador es la detallada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN donde nos indica que el semáforo es un dispositivo óptico luminoso para control de tránsito vehicular y peatonal.²

El uso de semáforos sin duda brinda un mayor orden en el tráfico pero también puede presentar algunos inconvenientes, en la tabla 1.1 se muestra una recopilación de algunas de las ventajas y desventajas sobre la utilización de este dispositivo.

¹ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega.

² INEN. (2011). Reglamento Técnico Ecuatoriano, Señalización Vial Parte 2. Ecuador.

VENTAJAS

DESVENTAJAS

Ordena la circulación del tránsito.	<p>Se incurren en gastos no justificados para las soluciones que podían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.</p> <p>Causan demoras injustificadas a cierto número de usuarios, especialmente tratándose de volúmenes de tránsito pequeños, al causar retardos molestos por excesiva duración de luz roja o del tiempo total del ciclo.</p> <p>Ocasionan pérdidas innecesarias de tiempo en las ciertas horas del día, cuando existe escasos volúmenes de tránsito que no requieren control de semáforos.</p> <p>Si la conservación es deficiente, especialmente en casos de focos fundidos o interrupciones del servicio eléctrico.</p> <p>En intersecciones rurales, la aparición intempestiva de un semáforo ocasiona accidentes cuando no hay avisos previos adecuados</p>
Optimiza la capacidad de las calles.	
Reduce la frecuencia de cierto tipo de accidentes.	
Con espaciamentos favorables se pueden sincronizar para mantener una circulación continua o casi continua.	
Sincroniza la circulación a velocidades constantes en una ruta determinada, en algunos casos con fines de seguridad.	
Interrumpir grandes volúmenes intensos de una vía, para conceder el paso de vehículos y peatones de vías transversales.	
En mayoría casos representa una economía considerable con respecto a la utilización de otras formas de control como por ejemplo señales o policías de tránsito.	

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de los semáforos

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Originalmente, los primeros semáforos, se instalaron en Londres en 1868, fueron accionados a mano y solo constituían una extensión mecánica del brazo del agente de tránsito. El primer semáforo eléctrico instalado en los Estados Unidos tuvo lugar en 1914 en Cleveland, y en 1917 en Salt Lake City se introduce la interconexión de semáforos.

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. Actualmente no se puede suponer, en las grandes ciudades del mundo, que el control del tránsito no se realice con los sistemas más avanzados de semáforos, incluyendo la coordinación computarizada y la incorporación de detectores automáticos de vehículos, que dependiendo de su variación hacen que cambie en forma dinámica y continua el tiempo asignado a cada acceso de las intersecciones. Esto ha permitido establecer estrategias para el control del



UNIVERSIDAD DE CUENCA

tránsito a lo largo de las diferentes horas del día a través de programas específicos para periodos de máxima y mínima demanda³.

En la década de los 70, en la ciudad de Cuenca, los primeros semáforos instalados fueron mecánicos y se ubicaron en la calle Simón Bolívar, éstos no brindaban su servicio las 24 horas como es en la actualidad, debían ser activados manualmente en el mismo sitio donde estos operaban mediante un mecanismo con palanca de porcelana, ubicada en la parte trasera de las caras de los semáforos, para ello se debía contar con una herramienta lo suficientemente larga para que desde la acera se los pueda accionar. Cuando se tenía la necesidad de cambiar los tiempos de los ciclos de estos semáforos lo que se realizaba era una modificación en los engranajes internos. Estos semáforos fueron utilizados hasta la década de los 90.

Al inicio de los años 90 se empezaron a remplazar los semáforos mecánicos por semáforos eléctricos controlados por PLC's (controles lógicos programables), con este tipo de controles se podía realizar una sincronización en serie de grupos pequeños de semáforos.

Para el año de 1997 se instalaron 4 semáforos electrónicos comandados por un controlador interno, estos fueron ubicados en las esquinas del Parque Calderón, ese mismo año se instalo un total de 15 unidades dentro del centro histórico de la ciudad. Este tipo de semáforos permitía una programación que podía variar a diferentes horas del día, en la mañana se podía presentar un tiempo de ciclo diferente al tiempo de ciclo de la tarde o la noche. Estos fueron utilizados en centro historio hasta el año 2010.⁴

En la calle Mariscar Lamar, hasta el año 2010 no se contaba con un sistema de semáforos, el tipo de control para esta calle, era las señales de prioridad, que daba el paso preferencial a los vehículos que circulaban a lo largo de toda esta calle.

Al crecer el parque automotor de la ciudad de Cuenca las autoridades de la ciudad se vieron obligados a tomar medidas para disminuir el congestionamiento vehicular que era molesto y algunas veces intransitable, la empresa pública de movilidad de la ciudad EMOV implemento en el año 2010 un sistema integral de

³ Adalpe C., Rodolfo; Jalle A., Jose; García R., Julio; Domínguez P., Luis; Martínez M., Alejandro y Ramírez C., Jose Luis, Los Semáforos y el Control Dinámico del Tránsito, Primera edición, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, 1976.

⁴ Arq. Enrique Flores, Profesor de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, autor del libro: Ciudad, Vialidad y Transporte. (2000)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

semáforos monitoreados desde un computador utilizando un software australiano llamado SCATS.

Este sistema cuenta con cámaras de video las cuales ejecutan automáticamente el conteo vehicular permitiendo una programación instantánea de acuerdo a las condiciones dinámicas del tráfico, este sistema computarizado y automático distingue el tipo de tráfico mediante sensores que miden la longitud de los vehículos pudiendo clasificarlos entre livianos y pesados, SCATS varía el tiempo de los ciclos de las intersecciones dando prioridad total a los vehículos de transporte masivo (buses), siendo este su principal función. Podemos decir que el sistema SCATS varía sus ciclos de acuerdo a las condiciones de tráfico optimizando el flujo pesado.

1.2. OBJETIVOS DE LA UTILIZACION DE LOS SEMÁFOROS

El principal objetivo de los semáforos es el de permitir el paso, alternadamente, a las corrientes de tránsito que se cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

Los objetivos del diseño de una intersección controlada por semáforos se resumen así⁵:

- Reducir y prevenir cierto tipo de accidentes en la intersección y en las intersecciones aledañas.
- Reducir las demoras que experimentan los peatones y vehículos al intentar cruzar la intersección, y al mismo tiempo evitar la obstrucción de las intersecciones más cercanas causado por colas largas.
- Reducir el consumo de combustible de los vehículos en la intersección.
- Reducir la emisión de contaminantes del aire de automotores y otros factores que empeoran el medio ambiente.

Los dos primeros objetivos reciben generalmente la más alta prioridad en una intersección, y como es natural, interesa satisfacerlos con un mínimo de costo de instalación del sistema de semáforos.

1.3. COMPONENTES DE LOS SEMAFOROS

Unidad óptica: La unidad óptica que se ilustra en la figura 1.1 es el conjunto formado por la lente, reflector, bombillo, porta bombillo y puerta.⁶ Toda esta unidad

⁵ Valencia Alaix, V. (2000). Principios sobre semáforos. Colombia, Medellín: Facultad Nacional de Minas.

óptica esta diseñada para evitar el efecto “fantasma” ocasionado por el sol, es decir que la luz encendida del semáforo debe ser vista en cualquier hora del día.

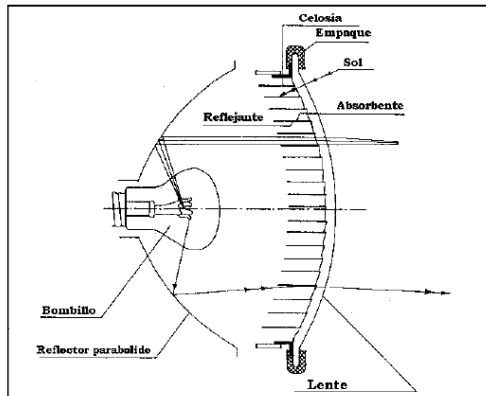


Figura 1.1 Unidad Óptica de un semáforo con el sistema para evitar el efecto “fantasma” ocasionado por los rayos de sol.

Cara: Es la parte del semáforo que regula uno o más movimientos de la circulación para vehículos provenientes de un solo sentido.⁷ La cara de un semáforo es un conjunto de unidades ópticas. En la figura 1.2 se muestra la cara de un semáforo estándar de la ciudad de Cuenca, que consta de tres unidades ópticas.



Figura 1.2 Cara de un semáforo.

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.

^{6 y 7} Valencia Alaix, V. (2000). Principios sobre semáforos. Colombia, Medellín: Facultad Nacional de Minas.



1.4. PARAMETROS DE CONTROL EN LOS SEMAFOROS.

Indicación de señal: es el encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.

Ciclo o longitud de ciclo: tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa. En otras palabras, es el tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.

Movimiento: maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.

Intervalo: cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo.

Fase: parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos. Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación ámbar.

Secuencia de fases: orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.

Reparto: porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases.

Intervalo de despeje: tiempo de exposición de la indicación ámbar del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.

Intervalo todo rojo: tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Existe un intervalo de tiempo en donde los semáforos de las intersecciones se encuentran en de color rojo, es decir prohibido el paso para ambos sentidos, este lapso de "todo rojo" ocurre en el primer segundo de rojo en la calle que termina de perder el paso. Es utilizado este lapso de tiempo por seguridad para que los vehículos puedan atravesar la intersección, es utilizado también para crear una fase exclusiva para peatones.

Intervalo de cambio de fase: intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio ámbar o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.⁸

1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SEMAFOROS

Las principales clases de semáforos que regulan el tránsito en zonas urbanas y rurales son las siguientes:

Semáforos de tiempos fijos: En el cual el ciclo, la duración y secuencia de intervalos son invariables y están definidos por un programa establecido con anticipación. Un semáforo puede tener varios programas, con el objeto de activarlos a diferentes horas del día para satisfacer mejor la demanda del tránsito.

Semáforos totalmente accionados por el tránsito: En los cuales la duración de cada fase y a veces su orden depende del tránsito que usa la intersección. Esta demanda es identificada mediante detectores (neumáticos, lazos de inducción, rayos infrarrojos, etc.). Disponen de medios para ser accionados en todos los accesos de la intersección.

Semáforos semiaccionados por el tránsito: Disponen de medios para ser accionados en uno o más accesos. Estos semáforos son aplicables a las intersecciones de vías con alto volumen y altas velocidades, con calles secundarias de tránsito relativamente liviano. La indicación normalmente es verde en la calle principal, cambiando a la calle secundaria solamente como resultado de la acción de vehículos o peatones detectados en ella.

Semáforos controlados por computador: Este tipo de semáforos no sólo se encarga de enviar indicaciones de fase a los controladores locales, también que proporciona otras funciones como:

- Planes para vehículos de emergencia (ambulancias, bomberos, policía) de manera que éstos cuenten con una banda verde especial.
- Leyendas variables, que indiquen por ejemplo el cambio de sentido de una vía o la calidad de la circulación.
- Información sobre la disponibilidad de estacionamiento.

⁸ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Conteo automático de tránsito.
- Comprobación del buen funcionamiento de los controladores locales.
- Combinaciones de estos tipos: Por ejemplo sistemas coordinados que también pueden responder a la demanda instantánea.

1.5.1. SEMAFOROS DE TIEMPO FIJO

Son los que regulan el tránsito de acuerdo con uno o más programas de tiempos determinados previamente y que permanecen invariables. Las características de diseño de estos semáforos, permiten ajustarlos a las variaciones de los volúmenes de los vehículos en periodos de diseño particulares⁹.

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

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.¹⁰

VENTAJAS DE SEMAFOROS DE TIEMPO FIJO

- Facilitan la coordinación con semáforos adyacentes, con más precisión que en el caso de semáforos accionados por el tránsito.
- No dependen de los detectores, por lo que no se afectan desfavorablemente cuando se impide la circulación normal de vehículos por los detectores.
- En general, el costo del equipo de tiempo fijo es menor que el del equipo accionado por el tránsito y su conservación es más sencilla y económica.

⁹ Valencia Alaix, V. (2000). Principios sobre semáforos. Colombia, Medellín: Facultad Nacional de Minas

¹⁰ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

1.5.2. SELECCIÓN DE MECANISMOS DE CONTROL

El diseño que vamos a desarrollar en esta monografía es del de *semáforos de tiempo fijo* que fue explicado en el Curso de graduación “Vialidad, Transporte y Construcciones” de la Universidad de Cuenca, por el Dr. Derek Queen.

Para realizar este método se debe elegir el tipo de mecanismo que más se adecue a las necesidades, según lo siguiente: ¹¹

a) Controlador de tiempos fijos sin mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas.

El uso de este tipo de control, se recomienda únicamente en aquellas intersecciones aisladas en donde no es posible que se presente la necesidad de sincronizarlo con el de otra intersección.

b) Controlador de tiempos fijos con mecanismo de sincronización, para intersecciones aisladas.

Este tipo de control tiene un dispositivo o función de sincronización, para intersecciones aisladas, cuando:

- 1) En el futuro, se necesite la coordinación del semáforo con otros, o el semáforo sea supervisado por un control maestro.
- 2) Sean aceptables las duraciones fijas de ciclos y de intervalos, todo el tiempo que dure la operación de control de tránsito.

c) Control que permite coordinación para intersecciones sucesivas o una red.

En general, los semáforos de tiempos fijos deben coordinarse si se encuentran a distancias menores de 400 metros, y aún a distancias mayores su coordinación puede resultar conveniente.

En la operación aislada de semáforos de tiempos fijos, en intersecciones adyacentes, pueden resultar graves demoras, gran parte de las cuales se puede evitar por medio de una coordinación bien planeada. Sin embargo, en ciertas condiciones adversas que pudieran afectar la eficacia de la coordinación, se pueden obtener mejores resultados por medio de semáforos accionados por el tránsito vehicular, ya sea independientemente o en forma coordinada.

¹¹ Valencia Alaix, V. (2000). Principios sobre semáforos. Colombia, Medellín: Facultad Nacional de Minas

1.6. CALCULOS DE LOS TIEMPOS DEL SEMAFORO

Para obtener un mínimo de demoras, cada fase debe incluir el mayor número posible de movimientos simultáneos. Así se lograra admitir un mayor volumen de vehículos en la intersección. Este debe ser un objetivo permanente que no debe olvidarse.

En general, el número de fases diferentes debe reducirse al mínimo, considerando la seguridad y la eficiencia. La selección de los movimientos dentro de cada fase debe tender a reducir a un mínimo la frecuencia y gravedad de los puntos de conflicto. Igualmente, la secuencia de las fases debe tratar de reducir las demoras.

Como se mencionó, una fase comienza con la pérdida del derecho de paso (final del verde), de los movimientos de los que están en conflicto con los que ganan el derecho. Esto es, la fase comienza con el ámbar que previene para detener los movimientos de los que pierden el derecho de paso y termina con el final del verde de los que lo tenían. Por lo tanto, una fase consta de un intervalo ámbar, uno todo rojo y uno verde. En la figura 1.3 se muestra una intersección de la calle Lamar con dos accesos operada con un semáforo de dos fases, en cada fase se tiene dos movimientos permitidos. En la figura 1.4 se observa en forma esquemática los conceptos de longitud de ciclo, intervalos y fases.

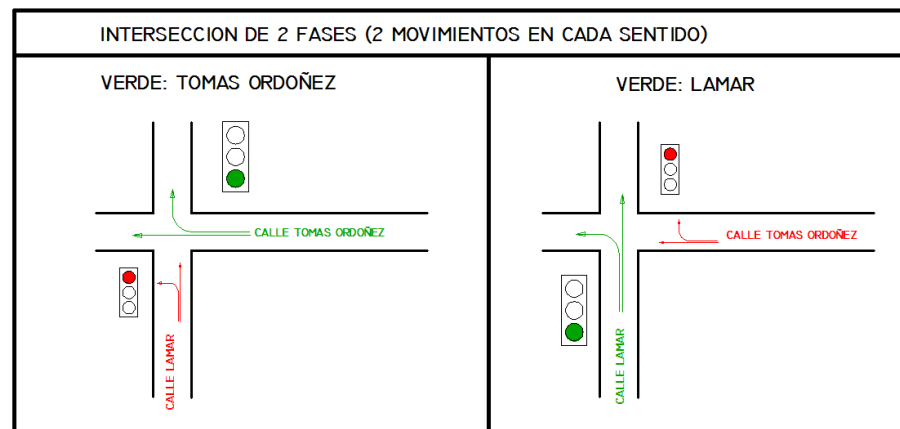


Figura 1.3 Intersección calles Lamar Y Tomas Ordoñez, 2 fases en cada ciclo

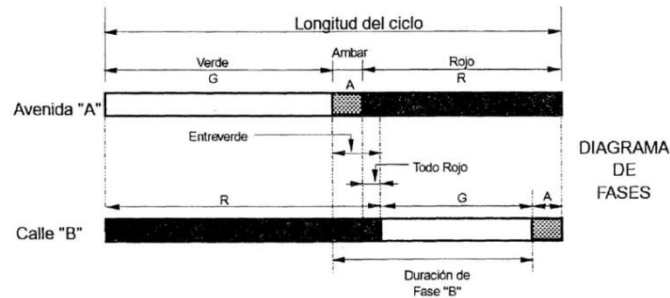


Figura 1.4 Fases y diagrama de fases en una intersección con semáforo.

La distribución de los tiempos de cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. En otras palabras, la duración de cada fase y del ciclo dependerá de la demanda.

Si los intervalos entre los vehículos que entran a una intersección, durante la hora de máxima demanda, es aproximadamente igual en los carriles críticos de las calles que se intersecan, la subdivisión del tiempo total del ciclo con indicación verde, será aproximadamente correcta si los lapsos correspondientes a cada calle se hacen directamente proporcionales a los volúmenes de tránsito en los carriles críticos.

A continuación se presentan de manera general los diversos elementos a tener en cuenta en el cálculo de los tiempos del semáforo y su reparto en las diferentes fases:

1.6.1. INTERVALO DE CAMBIO DE FASE

La función del intervalo de cambio de fase, es la de alertar a los usuarios de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección del derecho al uso de la intersección. Para calcular el intervalo de cambio de fase, que considere el tiempo de reacción del conductor, tiempo y espacio de deceleración y el tiempo necesario de despeje de la intersección, de acuerdo a la figura 1.5.

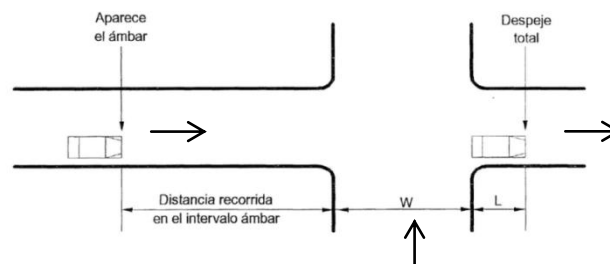


Figura 1.5. Intervalo de cambio de fase. Ingeniería de Tránsito.

Intervalo de cambio de fase = Ámbar + Todo Rojo

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

(ec. 1)

Donde:

y = intervalo de cambio de fase, ámbar mas todo rojo (s)

t = tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1.00 s)

v = velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)

a = tasa de deceleración (valor usual 3.05 m/s²)

W = ancho de la intersección (m)

L = longitud del vehículo (valor sugerido 6.10 m)

En la ecuación 1 y en la figura 1.5 el término $v/2a$ representa el tiempo necesario para recorrer la distancia de parada con deceleración a y velocidad v , y el término $(W+L)/v$ es el tiempo para cruzar la intersección. Los dos primeros términos, $t+v/2a$, identifican el *intervalo de cambio ámbar* y el tercer término, $(W+L)/v$, se asocia al *intervalo de cambio todo rojo*. Con respecto a la velocidad de aproximación v , se utiliza la velocidad límite prevaleciente o el percentil 85 de la velocidad. P_{85} .

A continuación se muestra un cuadro en el cual se ha calculado en intervalo de cambio de fase, utilizando los valores recomendados de la ecuación 1 para diferentes velocidades:

INTERVALO DE CAMBIO DE FASE PARA DIFERENTES VELOCIDADES		
	km/h	y (seg)
v =	10	7
v =	15	5
v =	30	4
v =	50	4

Se puede notar que conforme la velocidad aumenta el tiempo del intervalo de cambio de fase disminuye, teniendo en cuenta de que el flujo vehicular es muy alto en las intersecciones de la calle Mariscal Lamar una

UNIVERSIDAD DE CUENCA

velocidad que se puede optar es de 30 km/h, debido a que durante las horas de máxima demanda no se puede circular a velocidades altas. La velocidad de 30km/h q corresponde un tiempo cercano a los 4 segundos, este tiempo es él utilizado a lo largo de la calle en estudio como se detallara en el capítulo 2.

1.6.2. LONGITUD DEL CICLO

F. V Webster con base en observaciones de campo y simulación de un amplio rango de condiciones de tránsito, demostró que la demora mínima de todos los vehículos en una intersección con semáforo, se puede obtener para una longitud de ciclo óptimo de:

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i} \quad (\text{ec. 1.1})$$

Donde:

C_o = tiempo óptimo de ciclo (s)

L = tiempo total perdido por ciclo (s)

Y_i = máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase i

ϕ = número de fases

El intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado, está entre el 75% y el 150% del ciclo óptimo, para el cual las demoras nunca serán mayores en más del 10% al 20% de la demora mínima.

1.6.3. VEHICULOS EQUIVALENTES

Si todos los vehículos que salen de una intersección con semáforo son automóviles que continúan de frente, se tendrían las tasas máximas de flujo, a intervalos aproximadamente iguales. Sin embargo, en la mayoría de los casos la situación es más compleja por la presencia de vehículos pesados y movimientos hacia la izquierda y hacia la derecha. Para tener en cuenta estos aspectos, es necesario introducir factores de equivalencia.

El factor de ajuste por efecto de vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{VP} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1)} \quad [\text{ec. 1.2}]$$

Donde:

f_{vp} = factor de ajuste por efecto de vehículos pesados

P_C = porcentaje de camiones

P_B = porcentaje de autobuses

E_C = automóviles equivalentes a un camión

E_B = automóviles equivalentes a un autobús.

Los vehículos pesados o comerciales (camiones y autobuses), por su mayor longitud y menor poder de aceleración que los automóviles, necesitan más tiempo para despejar la intersección. Los automóviles equivalentes comúnmente utilizados tanto para camiones, E_C , como para autobuses, E_B , varían de 1.4 a 1.6, tomándose un valor medio de 1.5.¹²

Por otra parte, se requiere tener factores por *movimientos de vuelta*, puesto que en estas maniobras los vehículos generalmente consumen mayor tiempo que los vehículos que siguen de frente. Estos factores, E_V , que se utilizan para convertir automóviles que dan vuelta, a automóviles equivalentes que no la dan, varían de 1.4 a 1.6 para vueltas hacia la izquierda y de 1.0 a 1.4 para vueltas hacia la derecha.¹⁰

Igualmente, los volúmenes horarios de máxima demanda, VHMD, deben ser convertidos a tasa de flujo, q , a través del factor de la hora de máxima demanda, FHMD, para el cual, en casos de proyecto y diseño de planes de tiempos del semáforo, se sugiere un valor de 0.95.¹⁰

De esta manera, los volúmenes horarios mixtos, VHMD, se convierten a flujos automóviles directos, que no dan vuelta, equivalentes por hora, q_{ADE} , mediante la siguiente expresión.

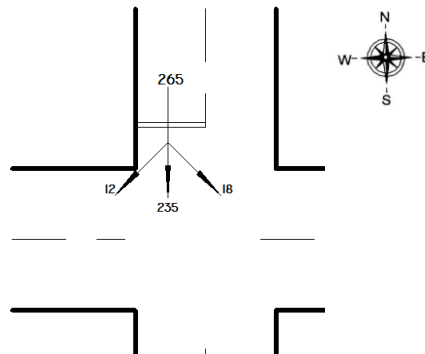
$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{VP}} \right) (E_V) \quad [\text{ec2}]$$

¹² Valor recomendado en el texto de Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones.

EJEMPLO:

A continuación se trata de dar una interpretación del desarrollo de un ejemplo realizado¹³.

En la siguiente figura se observa una intersección, con un volumen horario máximo mixto de 265 vehículos, de los cuales giran hacia la izquierda 18 vehículos, a la derecha 12 vehículos y en el sentido norte/sur 235 vehículos.



Además se cuenta con la siguiente información:

- ✓ Flujo de saturación = 1800 vehículos directos equivalentes por hora de luz verde por carril.
- ✓ El semáforo es de dos fases con vueltas a la izquierda permitida (debido al bajo volumen estas vueltas no serán protegidas) **fase 1:** sentido Este/Oeste y viceversa; **fase 2:** sentido Norte/Sur y viceversa.
- ✓ Una distribución del tráfico de la siguiente manera: 10% de buses, 5% de camiones.
- ✓ Se utilizara los factores de equivalencia de buses y camiones $E_b = E_c = 1.5$

Desarrollo:

De la ecuación 1.2 y reemplazando los valores:

¹³ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Ejemplo 13.5.2 pág. 406.



$$f_{VP} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1)}$$
$$f_{vp} = \frac{100}{100 + 5(1.5 - 1) + 10(1.5 - 1)} = \mathbf{0.93}$$

Automóviles directos equivalentes:

El semáforo consta de dos fases, en el sentido norte/sur se puede girar hacia la derecha tanto y también a la izquierda. Estos movimientos como se explico en le punto 1.6.3. se debe aplicar el factor de movimiento de vuelta de 1.6 cuando el giro es a la izquierda y de 1.4 cuando el giro es a la derecha.

1 vuelta a la izquierda = 1.6 ADE (automóviles directos equivalentes)

1 vuelta a la derecha = 1.4 ADE

FLUJOS PARA EL ACCESO NORTE:

$FMHD = 0.95$, valor recomendado en la pagina 14.

Movimiento Directo: el flujo que se dirige en sentido norte/sur.

$$q_D = \frac{VMHD_D}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) = \frac{235}{0.95} \left(\frac{1}{0.93} \right)$$
$$q_D = \mathbf{266 ADE/h}$$

Vuelta a la Izquierda: el flujo de vehículos que se dirigen al este.

$$q_{VI} = \frac{VMHD_{VI}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) E_{VI} = \frac{18}{0.95} \left(\frac{1}{0.93} \right) 1.6$$
$$q_D = \mathbf{33 ADE/h}$$

Vuelta a la Derecha: el flujo de vehículos que se dirigen al oeste.

$$q_{VD} = \frac{VMHD_{VD}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) E_{VD} = \frac{12}{0.95} \left(\frac{1}{0.93} \right) 1.4$$
$$q_{VD} = \mathbf{19 ADE/h (AutomovilesDirectosEquivelntes/hora)}$$

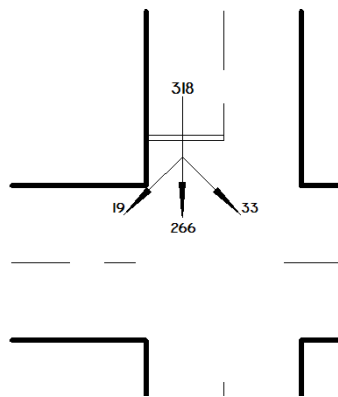
FLUJO TOTAL EQUIVALENTE DE ACCESO:

El flujo total equivalente de acceso es igual a la suma de los flujos equivalentes a cada uno de los movimientos de las fases: movimiento directo (Norte/Sur), vuelta a la izquierda (Norte/Este) y vuelta a la derecha (Norte/Oeste).

$$q_T = q_D + q_{VI} + q_{VD}$$

$$q_T = 266 + 33 + 19 = 318 \text{ ADE/h}$$

El flujo total calculado se puede visualizar en el siguiente diagrama.



1.6.4. FLUJO DE SATURACIÓN Y TIEMPO PERDIDO

Según las investigaciones realizadas por R. Akcelik¹⁴, quien fue uno de los técnicos que más ha estudiado las intersecciones con semáforos, se conoce que cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos que cruzan la línea de "alto" se incrementa rápidamente a una tasa llamada flujo de saturación, la cual permanece constante hasta que la fila de vehículos se disipa o hasta que termina el verde. La tasa de vehículos que cruzan la Línea al arrancar es menor durante los primeros segundos, mientras los vehículos aceleran hasta alcanzar una velocidad de marcha normal. Similarmente, durante el periodo posterior a la terminación del verde, la tasa de vehículos que cruzan la Línea es menor debido a que algunos vehículos disminuyen su velocidad o se detienen.

¹⁴ Adalpe C., Rodolfo; Jalle A., Jose; García R., Julio; Domínguez P., Luis; Martínez M., Alejandro y Ramírez C., Jose Luis, Los Semáforos y el Control Dinámico del Tránsito, Primera edición, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, 1976.

El flujo de saturación es la tasa máxima de vehículos que cruzan la línea de “alto”, que puede ser obtenida cuando existen filas y éstas aún persisten hasta el final del período verde. En este caso se tiene un período de verde completamente saturado.¹⁵

La figura 1.6 muestra las relaciones fundamentales que caracterizan este fenómeno. La Línea punteada indica el modelo básico o curvo de flujo efectivo, que reemplaza la curva de flujo actual de vehículos que cruzan la Línea por un rectángulo de igual área, cuya altura es el flujo de saturación s y cuyo ancho es el tiempo verde efectivo g . En otras palabras, el área bajo la curva, sg , representa el máximo número de vehículos que cruzan la Línea en un ciclo promedio.

El tiempo entre los comienzos de los periodos de verde G y verde efectivo g , esto es ee' , se considera como una pérdida inicial. Igualmente, el tiempo entre los finales de los periodos de verde y verde efectivo, ff' , se considera como una ganancia final. Por lo tanto, el verde efectivo para la fase i es:

$$g_i = G_i + ff' - ee' \quad [ec3]$$

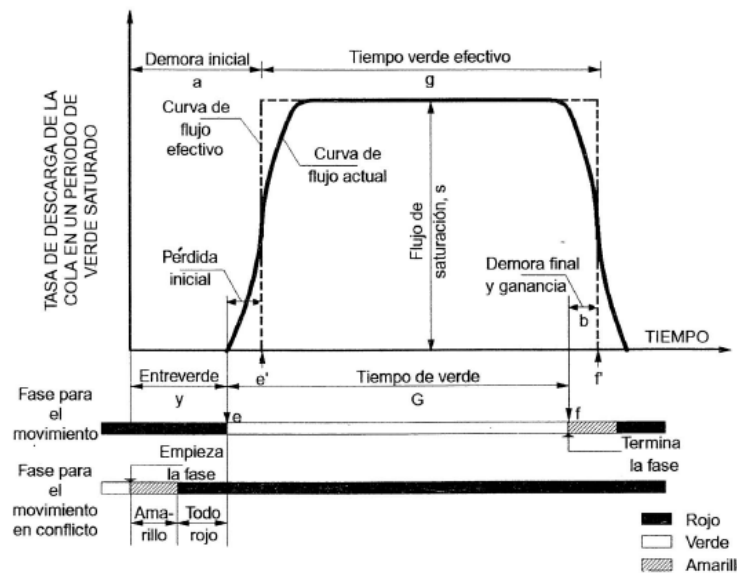


Figura 1.6 Modelo básico del flujo de saturación.

¹⁵ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

UNIVERSIDAD DE CUENCA

La demora inicial “a”, se define como la suma del tiempo entreverde o intervalo de cambio de fase “ y_i ” y la pérdida inicial ee' :

$$a = y_i + ee' \quad \text{[ec4]}$$

La demora final b , se define simplemente como la ganancia final ff' :

$$b = ff'$$

Entonces, el tiempo perdido por fase, l_i , es la diferencia entre la demora inicial, y la ganancia final

$$l_i = a - b$$
$$l_i = y_i + ee' - ff' \quad \text{[ec5]}$$

De la ecuación 3:

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

Reemplazando en la ecuación 5:

$$l_i = y_i + G_i - g_i \quad \text{[ec6]}$$

Por lo general, el intervalo de cambio de fase y_i de una fase i es igual al intervalo “Amarillo” A_i :

$$y_i = A_i$$

Reemplazando en la ecuación 5:

$$l_i = y_i + G_i - g_i$$

Por lo tanto, la ecuación 6 transforma en:

$$l_i = G_i + A_i - g_i \quad \text{[ec 7]}$$

Si se supone que la pérdida inicial ee' es igual a la ganancia final ff' , entonces:

$$g_i = G_i$$
$$l_i = y_i = A_i \quad \text{[ec7.1]}$$

El tiempo total L perdido es:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR \quad \text{[ec8]}$$

Donde TR representa el tiempo total de todo rojo durante el ciclo, en caso de existir.

1.6.4.1. ASIGNACIÓN DE TIEMPOS VERDES

El tiempo verde efectivo total g_T , disponible por ciclo para todos los accesos de la intersección, está dado por:

$$g_T = C - L = C - \left[\left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR \right] \quad [ec9]$$

Donde:

g_T = tiempo verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos

C = Longitud actual del ciclo (Redondeando C_o a los 5 segundos mas cercanos)

Para obtener una demora total mínima en la intersección, el tiempo verde efectivo total g_T debe distribuirse entre las diferentes fases en proporción a sus valores de Y_i , así:

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} (g_T) = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{\varphi}} (g_T) \quad [ec10]$$

Donde Y_i es el valor maximo de la relacion entre el flujo actual y el flujo de saturacion, para el acceso o movimiento o carril critico de cada fase i . De la ecuación 7, el tiempo verde real G_i para cada fase i se obtiene como:

$$G_i = g_i + l_i - A_i \quad [ec11]$$

Para 2 fases de la vía Mariscal Lamar tendríamos:

$$G_1 = g_1 + l_1 - A_1$$

$$G_2 = g_2 + l_2 - A_2$$

1.7. COORDINACION DE LOS SEMÁFOROS (SINCRONIZACIÓN)

La coordinación de semáforos consiste en la sincronización de los programas de tiempo de los semáforos con el propósito de favorecer la progresión del tránsito, es decir, que los grupos de vehículos (pelotones) avancen a lo largo de la vía o rutas (sucesión de vías) manteniendo una velocidad compatible con las características geométricas de la vía que recorre y el nivel de servicio del tránsito, experimentando el mínimo de demoras y detenciones. La coordinación exige que todas las intersecciones tengan la misma duración de ciclo.



Como puede deducirse la coordinación se puede analizar y calcular para una sola vía arteria o para una red, pero sólo en la primera se puede realizar manualmente con relativa facilidad; para ambos casos puede recurrirse al uso de programas computacionales especialmente creados para tal propósito como son el SIGOP, MAXBAD, PASSER, INTEGRATION o TRANSYT¹⁶.

1.7.1. SISTEMAS DE COORDINACIÓN

Los sistemas coordinados pueden, o no, estar sujetos a un control maestro. En caso de existir, la interconexión puede lograrse mediante cables o radios. En los controles locales de estos sistemas, se emplean motores de sincronización o de inducción, o bien, dispositivos electrónicos de tiempo.

En general, los semáforos de tiempo fijo dentro de un radio de 400 metros y que regulan las mismas condiciones de tránsito, deben funcionar coordinadamente. Aun a distancias mayores, pueden resultar convenientes.

Existen cuatro sistemas de coordinación de semáforos de tiempo fijo, estos son¹⁷:

1. Sistema simultaneo

En este sistema, todos los semáforos muestran la misma indicación aproximadamente al mismo tiempo. Se recomienda su uso para coordinar intersecciones muy cercanas. Las duraciones de los ciclos y sus fases están gobernadas por las necesidades de una o dos de las intersecciones más importantes, lo que puede dar lugar a serias fallas en los demás.

2. Sistema alternado

En este sistema, grupos de semáforos de intersecciones cercanas, muestran indicaciones alternadas, a lo largo de una vía. Las variaciones de este sistema son: el sistema alterno sencillo, en el cual

¹⁶ Valencia Alaix, V. (2000). Principios sobre semáforos. Colombia, Medellín: Facultad Nacional de Minas.

¹⁷ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

se tienen indicaciones contrarias en semáforos adyacentes; y los sistemas alternos dobles y triples que constan de grupos de dos y tres semáforos que, respectivamente, muestran indicaciones contrarias. Mejora la circulación de los grupos de vehículos en comparación con el sistema anterior. Habrá más fluidez si las longitudes de las calles son más uniformes. No se adapta muy bien cuando las cuadras son desiguales. El sistema doble reduce la capacidad de la calle con los volúmenes altos.

3. Sistema progresivo simple o limitado

Este sistema trata de varios semáforos sucesivos, a lo largo de una calle, que dan la indicación de verde de acuerdo con una variación de tiempo que permite, hasta donde es posible, la operación continua de grupos de vehículos a velocidad fija en "ondas verdes". A esta variación de tiempo la llamaremos "desfase", término que será utilizado posteriormente para la coordinación de los semáforos.

Este sistema puede estar supervisado por un control maestro, para mantener los desfases correctos. Es necesario realizar revisiones periódicas de los controles, por variaciones debidas a cambios de voltaje y temperatura.

Los desfases, o diferencia de tiempo en que se inician los ciclos entre dos semáforos, pueden tener cualquier valor. No se limitan a la duración de un ciclo o medio ciclo, como en los sistemas anteriormente citados.

4. Sistema progresivo flexible

En este sistema es posible que cada intersección con semáforo varíe automáticamente en varios aspectos. Mediante el uso de controles de intersecciones se pueden establecer varios programas para subdividir el ciclo. Además, es posible cambiar los desfasamientos con la frecuencia deseada. Se pueden establecer programas de tiempo predeterminado en los controles múltiples para dar preferencia a las circulaciones en las horas de máxima demanda. No obstante que todo el sistema usa un ciclo común, la duración y subdivisión de este pueden variar en función de los cambios de volumen de vehículos. Con base en la variación de los volúmenes de tránsito y la selección de la velocidad adecuada, se puede lograr un movimiento continuo a lo largo de una arteria, especialmente si es de un solo sentido.

Para obtener la máxima flexibilidad de este sistema, los recuentos de



transito se deben efectuar frecuentemente. Este sistema es el que da mejores resultados para intersecciones ubicadas a distancias variables.

El sistema de coordinación de semáforos utilizado en la zona central de Cuenca (Incluyendo la calle en estudio) es del tipo progresivo flexible, y es controlado por el software SCATS como ya se indicó anteriormente en los antecedentes históricos.

1.7.2. REQUISITOS GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS COORDINADOS

La instalación de sistemas coordinados implica varios costos y requerimientos en términos de los siguientes aspectos¹⁸:

- a) Nuevo equipo de control central.
- b) Modificación de intersecciones (Geométricas, obras de arte, ductos)
- c) Equipo de comunicaciones (Radio, detectores, sensores, sistemas de televisión, cableado, módems, controladores adecuados).
- d) Estudios (aforos, preparación de planes, etc.).
- e) Instrucción de personal (Especialistas en ingeniería de tránsito, ingenieros electrónicos y de sistemas, auxiliares, mecánicos)
- f) Mantenimiento de equipo (Talleres, repuestos, equipos, transporte especial)
- g) Puesta al día de planes (Software apropiado, vehículos supervisores y de actualización de la coordinación).

Si se instala un sistema coordinado donde los beneficios (Ahorros en tiempo de viaje, costos de operación vehicular, reducción en consumo de combustible y contaminación ambiental debido a la reducción de demoras y detenciones por la coordinación) no logran superar los costos mencionados se estará haciendo una inversión sin rentabilidad financiera y/o económica.

¹⁸ Valencia Alaix, V. (2000). Principios sobre semáforos. Colombia, Medellín: Facultad Nacional de Minas.

1.7.3. DIAGRAMA ESPACIO – TIEMPO

El diagrama espacio – tiempo (Figura 1.7) es aquel que representa tanto los desfases existentes, o bien necesarios, entre semáforos consecutivos, así como los tiempos de los ciclos y sus subdivisiones, de tal manera que se obtenga un movimiento continuo a lo largo de una arteria.

Por lo tanto el diagrama espacio – tiempo es una ilustración de los resultados obtenidos por cálculos matemáticos, la cual deberá ser realizada a escala de tal manera que se pueda comprobar gráficamente que los tiempos de ciclos y desfases permitan el movimiento continuo de los vehículos.

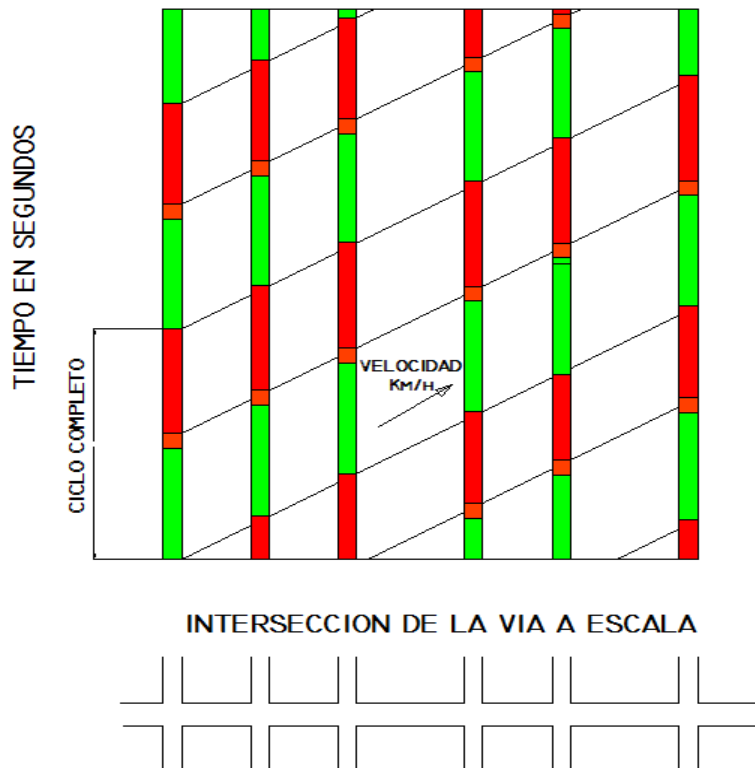


Figura 1.7. Diagrama tiempo - espacio

2. CAPÍTULO 2

INFORMACION A CERCA DE LOS SEMÁFOROS DE LA CALLE MARISCAL LAMAR AL 3 DE AGOSTO - 2012

El sistema de semaforización de una red vial en ocasiones no solo depende de su diseño para lograr una fluidez del tráfico, hay que tomar en cuenta circunstancias externas pero influyentes en su funcionamiento, tales como el estado que se encuentran los componentes semafóricos de la red, en ocasiones al estar en completa intemperie los componentes electrónicos internos pueden deteriorarse y no cumplir su función debido al mal estado y falta de mantenimiento. Es por eso que antes de realizar cualquier cálculo, se verifico el estado y funcionamiento de cada uno de los semáforos a lo largo de la calle Lamar, observando en campo aspectos como: ubicación, funcionamiento, tiempos de los intervalos de las fases, entre otros.

Mediante visitas de campo, se identificaron once intersecciones consecutivas que cuentan con semáforos a lo largo de la calle Mariscal Lamar, sobre las cuales realizaremos nuestros estudios. Estas intersecciones están comprendidas entre la avenida Huayna Capac y la calle Tarqui, como se muestra en la figura 2.1:

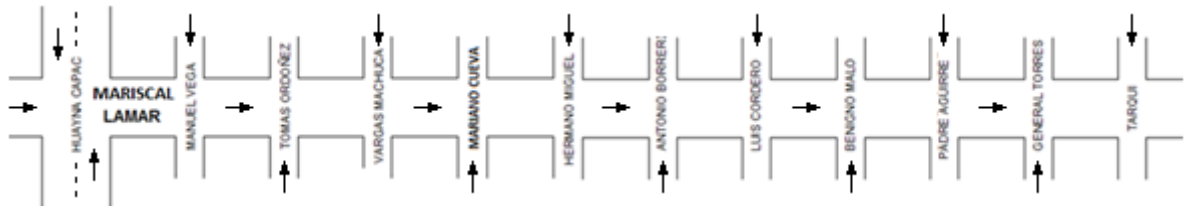


Figura 2.1 Intersecciones consecutivas con semáforos a lo largo de la calle Mariscal Lamar.

Los datos que se presentan a continuación se obtuvieron mediante visitas de campo con la ayuda de instrumentos de medición como son el flexómetro y cronómetro. También se utilizó una cámara de video mediante la cual se obtuvieron videos de cada intersección semaforizada, para así poder analizar los mismos en oficina y extraer los datos de manera más precisa. Cabe recalcar que los tiempos que se han medido, corresponden a los semáforos cuya cara está orientada hacia la calle Mariscal Lamar. Todo proceso de extracción de datos será explicado más detalladamente en los siguientes numerales.

2.1. UBICACIÓN, TIPO, VISIBILIDAD.

Los semáforos a estudiar están ubicados en las aceras norte y sur de la vía, todos empotrados mediante tubos metálicos hacia el piso, cuya altura varía entre los 2.50 y 3.50 metros. En ciertos casos, los cuales **no** fueron detectados en la calle Mariscal Lamar, se puede observar que los semáforos se empotran a la pared de una casa de tal manera que no represente un obstáculo al paso peatonal sobre la acera.

Se puede detectar un solo tipo de semáforos en todas las intersecciones indicadas anteriormente. Este tipo de semáforos consta de tres intervalos, los cuales siguen la siguiente secuencia:

Intervalo 3: Luz roja

Intervalo 2: Luz ámbar

Intervalo 1: Luz verde



Posteriormente se definirá si este tipo de semáforos son de tiempo fijo, accionados por el tránsito o controlados por un computador.

Cuando se realizó la toma de los tiempos de las fases de los semáforos se pudo constatar que la visibilidad de los mismos es buena ya que no existen obstáculos que la dificulten, al mismo tiempo que se trata de semáforos en buenas condiciones por lo que presentan un buen alcance visual. Uno de los obstáculos que pueden llegar a interferir con la visibilidad son los buses que se detienen cerca de la intersección cuando el semáforo se encuentra en luz roja.

2.2. DISTANCIAS ENTRE PUNTOS DE COLISIÓN E INTERVALOS DE CAMBIO DE FASE

Distancias entre puntos de colisión

El propósito del “Intervalo de cambio de fase” es para permitir que los vehículos despejen la intersección antes de empezar el siguiente movimiento. La duración de dicho período se determinará en base a la mayor distancia entre puntos de colisión.

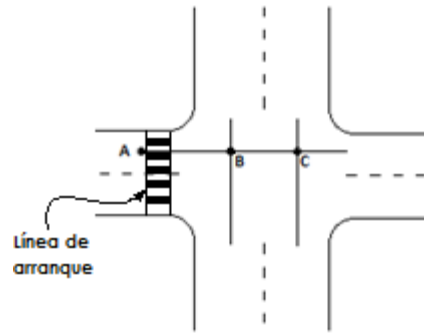


Figura 2.2 Distancias entre puntos de colisión.

La distancia entre puntos de colisión es aquella distancia medida desde la línea de arranque de los vehículos en un semáforo hasta las líneas del flujo transversales (distancias AB y AC). La distancia más crítica (AC) será la más larga y es ésta la que gobernará al momento de decidir los tiempos necesarios de “intervalo de cambio de fase” para así evitar colisiones entre los vehículos de flujos perpendiculares. En nuestro caso se ha tomado una medida aproximada de la distancia entre puntos de colisión, mediante el uso de cinta métrica directamente en campo, obteniéndose valores cercanos a los 8.0 metros encontrándose un valor máximo en la intersección de la calle Lamar con la Calle Manuel Vega de aproximadamente 9.0 metros.

Intervalos de cambio de fase

La función principal del intervalo de cambio de fase, es la de alertar a los usuarios de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección.

$$\text{Intervalo de cambio de fase} = \text{Ámbar} + \text{Todo rojo}$$

Para la obtención de los intervalos de cambio de fase, se utilizó un cronómetro con el cual se extrajeron los tiempos de ámbar y todo rojo durante períodos de 15 minutos de observación en cada una de las intersecciones. Se pudo determinar que éstos tiempos coinciden para todos los casos (tiempo de ámbar = 2.8 seg. Y tiempo de todo rojo = 1 seg.), excepto para la calle Tarqui en donde el tiempo de ámbar es igual a 2.9 seg. En la tabla 2.1 se muestran los resultados obtenidos:

INTERSECCION LAMAR CON:	TIEMPO AMBAR (seg)	TODO ROJO (seg)	INTERVALO DE CAMBIO DE FASE (seg)
HUAYNA CAPAC	2.8	1	3.8
MANUEL VEGA	2.8	1	3.8
TOMAS ORDONEZ	2.8	1	3.8
VARGAS MACHUCA	2.8	1	3.8
MARIANO CUEVA	2.8	1	3.8
HERMANO MIGUEL	2.8	1	3.8
ANTONIO BARRERO	2.8	1	3.8
LUIS CORDERO	2.8	1	3.8
BENIGNO MALO	2.8	1	3.8
PADRE AGUIRRE	2.8	1	3.8
GENERAL TORRES	2.8	1	3.8
TARQUI	2.9	1	3.9
PROMEDIO =	2.8	1	3.8

Tabla 2.1. Tiempos de ámbar y todo rojo de los semáforos en estudio. Fuente: Obtenida por los autores de la monografía.

Al analizar estos datos podemos concluir que el tiempo empleado para el intervalo de cambio de fase corresponde a una velocidad de diseño y un ancho de carril estándares, el cual ha sido empleado sin tomar en cuenta la diferencia de dimensiones entre una intersección y otra.

2.3. OBTENCIÓN DE TIEMPOS DE CICLOS COMPLETOS.

Para la obtención de los tiempos de los semáforos se utilizó una cámara de video que capturó los ciclos de los mismos, durante un lapso de 15 minutos en cada una de las intersecciones, siempre mirando al semáforo cuya cara está orientada hacia la calle Mariscal Lamar. Luego se realizó la obtención de los datos en oficina de la siguiente manera: se exportó los videos desde la cámara a un monitor para una mejor apreciación de las imágenes y mediante el uso de un cronómetro, el cual marca los “tiempos de vuelta”, se obtuvieron los tiempos de los intervalos de cada fase (rojo, verde, ámbar, todo rojo) durante los 15 minutos de video de cada intersección. A estos datos se los fue tabulando en una hoja electrónica, en la cual pudimos calcular los **tiempos promedio** de los intervalos de fase para cada una de las intersecciones en estudio. En la tabla 2.2 se muestra una recopilación de estos tiempos (Todos aquellos en segundos), en



UNIVERSIDAD DE CUENCA

donde los ciclos $1, 2, \dots, n$ son ciclos consecutivos a lo largo de los 15 minutos de duración del video.

Debido a que en la intersección con la avenida Huayna Capac, el semáforo mantiene un tiempo de ciclo más corto que el de las otras intersecciones, se pudo captar un mayor número de ciclos (once) durante los 15 minutos de filmación. En las demás intersecciones se han obtenido alrededor de 6 ó 7 ciclos durante el mismo período.

Una de las hipótesis que nos planteamos inicialmente fue que el sistema de coordinación implementado en los semáforos en estudio es del tipo progresivo simple, en el cual se puede observar claramente un desfase entre los inicios de ciclo de los semáforos consecutivos. Posteriormente se pudo conocer que ésta hipótesis es incorrecta ya que el sistema empleado es del tipo progresivo flexible, en el cual no se emplea un tiempo de desfase fijo sino que varía de acuerdo a las condiciones del tráfico a lo largo del día. Esto se pudo constatar al tomar los datos de campo ya que fue imposible la obtención de un tiempo promedio de desfase entre semáforos consecutivos.



INTERSECCIÓN CON LA CALLE LAMAR	INTERVALO DE FASE	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 4	CICLO 5	CICLO 6	CICLO 7	CICLO 8	CICLO 9	CICLO 10	CICLO 11	PROMEDIO	PROMEDIO DEL CICLO
HUAYNA CAPAC	VERDE	22.1	22.1	22.0	22.6	23.9	26.0	25.5	23.9	27.9	27.4	27.0	24.6	88.4
	AMBAR	2.9	2.7	2.8	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.7	2.9	2.8	2.8	
	ROJO	54.1	55.7	55.0	57.1	58.0	70.4	61.0	59.3	57.6	75.0	67.3	61.0	
MANUEL VEGA	VERDE	74.8	66.6	67.9	63.9	55.0	102.0	40.9	---	---	---	---	67.3	119.1
	AMBAR	2.7	2.3	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	49.0	49.0	48.1	44.0	58.9	51.2	43.0	---	---	---	---	49.0	
TOMAS ORDONEZ	VERDE	65.0	56.1	57.0	77.1	56.1	61.9	---	---	---	---	---	62.2	115.4
	AMBAR	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	---	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	47.2	46.0	56.1	50.0	53.1	50.1	---	---	---	---	---	50.4	
VARGAS MACHUCA	VERDE	47.0	60.2	55.0	78.9	74.6	61.7	89.9	---	---	---	---	66.8	120.7
	AMBAR	2.8	2.7	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	47.0	46.0	60.2	57.2	53.2	53.2	41.2	---	---	---	---	51.1	
MARIANO CUEVA	VERDE	60.0	53.1	58.2	58.0	62.1	70.7	64.2	---	---	---	---	60.9	107.3
	AMBAR	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	43.0	41.2	41.7	42.9	47.2	47.0	41.7	---	---	---	---	43.5	
HERMANO MIGUEL	VERDE	61.1	86.0	69.0	60.0	63.9	---	---	---	---	---	---	68.0	120.9
	AMBAR	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	---	---	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	53.1	50.0	52.0	53.1	42.1	---	---	---	---	---	---	50.1	
ANTONIO BORRERO	VERDE	46.0	41.0	37.0	35.1	47.1	46.9	44.1	---	---	---	---	42.5	118.5
	AMBAR	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	74.0	75.3	75.9	78.0	72.1	72.0	65.3	---	---	---	---	73.2	
LUIS CORDERO	VERDE	54.0	58.0	57.0	59.1	55.9	51.6	57.9	---	---	---	---	56.6	121.1
	AMBAR	2.7	2.9	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	62.1	59.1	61.0	63.2	63.4	59.2	65.1	---	---	---	---	61.8	
BENIGNO MALO	VERDE	64.0	71.7	74.9	64.1	67.7	68.9	81.2	---	---	---	---	70.4	117.8
	AMBAR	2.9	2.8	2.9	2.8	2.8	2.9	2.7	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	50.4	49.0	45.0	44.3	42.0	42.0	39.9	---	---	---	---	44.7	
PADRE AGUIRRE	VERDE	45.0	44.9	45.9	36.0	36.0	34.1	---	---	---	---	---	41.7	120.4
	AMBAR	2.8	2.9	2.8	2.7	2.9	2.7	---	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	70.1	71.2	72.0	82.2	82.9	85.0	---	---	---	---	---	77.2	
GENERAL TORRES	VERDE	83.7	76.1	73.9	80.9	76.0	78.8	89.8	---	---	---	---	79.9	119.7
	AMBAR	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	---	---	---	---	2.8	
	ROJO	36.1	35.1	36.1	36.1	36.1	39.1	40.2	---	---	---	---	37.0	
TARQUI	VERDE	61.7	68.2	68.0	65.9	68.0	64.0	---	---	---	---	---	66.0	117.3
	AMBAR	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	---	---	---	---	---	2.9	
	ROJO	49.7	53.1	49.9	47.8	46.0	43.8	---	---	---	---	---	48.4	

Tabla 2.2. Tiempos de ciclos completos medidos en las intersecciones en estudio. Fuente: Obtenida por los autores de la monografía.

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo

3. CAPÍTULO 3

CAPACIDAD DE LAS INTERSECCIONES EN ESTUDIO

Para el diseño de un sistema óptimo de semaforización es fundamental conocer condiciones geométricas de la vía y la cantidad máxima de vehículos que por está puedan transitar de forma libre y continua.

La capacidad vial se refiere a un flujo de vehículos que puede circular por la vía sin causar molestias ni demoras de ningún tipo. Los controles que se pueden implementar en las intersecciones dependerán de los **volúmenes de tráfico**, que se presentan en las mismas. Una vez que se tenga conocimiento de estos datos, podremos determinar el tipo de control que deba implementarse el cual puede ser: un redondel, vías jerárquicas (principales y secundarias), semáforos o pasos a desnivel.

3.1. CONTEO VEHICULAR EN CADA INTERSECCIÓN Y CÁLCULO DEL FADE (Flujo de automóviles directos equivalentes)

El conteo vehicular se lo realiza con el objeto de determinar el flujo existente en todas las aproximaciones a cada una de las intersecciones en estudio. De acuerdo al comportamiento del tráfico que se puede observar a lo largo de la calle Mariscal Lamar, se ha escogido un horario entre las 12h30 y las 17h30 en el cuál suponemos que se encuentra la hora pico diaria. Para hallar la hora de máxima demanda, se ha realizado el conteo vehicular en lapsos de 15 minutos a lo largo del horario establecido, en las aproximaciones a cada intersección. Para esto se ha utilizado un formato estándar de conteo vehicular, similar al mostrado en la figura 3.1, el cual incluye una clasificación de los diferentes tipos de vehículos, aunque como se explicará más adelante, la ley municipal restringe la circulación en el centro de la ciudad para algunos de ellos.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
MONOGRAFÍA DEL CURSO DE GRADO
CONTEO VEHICULAR EN LA CALLE MARISCAL LAMAR TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA AV. HUAYNA CAPAC Y LA CALLE TARQUI

INTERSECCION: _____

FEC. HA: _____ HORA INICIO: _____
ENCUESTADOR: _____ HORA FIN: _____

Hora cada 15 minutos	LIVIANOS	BUSES		CAMIONES			OTROS	
		2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	4 O MÁS EJES	B	M

Figura 3.1. Formato estándar de hoja de campo para el conteo vehicular

Como se puede observar en el formato, hemos dividido el tráfico en:

- Vehículos livianos: en esta categoría están incluidos todos los vehículos que tengan dos ejes simples con una rueda.
- Buses de dos y tres ejes: en esta categoría están los buses que constan de 1 eje simple con una rueda y uno o dos ejes simples con doble rueda.
- Camiones de dos, tres y cuatro o más ejes: este tipo de vehículos constan de 1 eje simple con una rueda, y dos, tres, cuatro o más ejes simples de doble rueda. Para el caso de la calle Lamar, y en general para todo el centro de la ciudad, el paso de camiones de tres o más ejes está restringido, únicamente pueden pasar los camiones de dos ejes, *pero se ha incluido esta clasificación en el formato ya que éste es estándar.*
- Otros: esta categoría está dividida en motocicletas y bicicletas. Este conteo únicamente se realizó con el objeto de obtener una estadística sobre la cantidad de personas que usan este tipo de transporte, mas no se los tomará en cuenta en los cálculos de los tiempos de los semáforos ya que su influencia es mínima en este caso.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nota: Se denominará Tráfico vehicular mixto a la suma de las cantidades de vehículos de todas las categorías anteriores (excepto bicicletas y motocicletas) que circulan por una vía determinada.

En la tabla 3.1 se expone un resumen del conteo volumétrico en el cual se muestran los 15 minutos de mayor flujo mixto, para cada una de las aproximaciones a las intersecciones y los flujos mixtos totales; éstos últimos se obtuvieron sumando el flujo **máximo** de cada aproximación a una intersección más el flujo de su calle transversal correspondiente al mismo lapso de tiempo. Por ésta razón, en la tabla 3.1 se muestra el análisis de flujo mixto total tanto para los máximos flujos de la calle Lamar como de sus transversales.

		Análisis en la Calle Lamar			Análisis en la Calle transversal				
		15 min. de mayor flujo	Flujo en la C. Lamar veh/15 min	Flujo en la C. Transversal veh/15 min	Flujo mixto total veh/15 min	15 min. de mayor flujo	Flujo en la C. Lamar veh/15 min	Flujo en la C. Transversal veh/15 min	Flujo mixto total veh/15 min
TRANSVERSAL A LA CALLE LAMAR	MANUEL VEGA	14:45 - 15:00	227	129	356	14:45 - 15:00	120	227	347
	TOMAS ORDONEZ	15:00 - 15:15	233	89	322	14:45 - 15:00	97	223	320
	VARGAS MACHUCA	15:00 - 15:15	216	60	276	14:15 - 14:30	80	168	248
	MARIANO CUEVA	12:45 - 13:00	202	65	267	14:15 - 14:30	106	170	276
	HERMANO MIGUEL	14:45 - 15:00	209	36	245	15:00 - 15:15	64	191	255
	ANTONIO BORRERO	12:45 - 13:00	206	58	264	14:30 - 14:45	95	174	269
	LUIS CORDERO	15:00 - 15:15	203	75	278	15:15 - 15:30	109	182	291
	BENIGNO MALO	15:30 - 15:45	198	58	256	16:00 - 16:15	63	188	251
	PADRE AGUIRRE	14:15 - 14:30	156	63	219	13:00 - 13:15	88	152	240
	GENERAL TORRES	13:00 - 13:15	150	47	197	14:00 - 14:15	65	73	138
	TARQUI	13:00 - 13:15	129	70	199	13:45 - 14:00	62	102	164

Tabla 3.1. Resumen del conteo volumétrico en las aproximaciones a las intersecciones en estudio. Fuente: obtenida por los autores de la monografía.

Luego de analizar los datos se determinó cuáles son las intersecciones de la calle Mariscal Lamar que presentan mayores tráficov vehiculares mixtos totales (Analizando tanto la calle Lamar como sus transversales) y se identificó cuatro intersecciones importantes: Manuel Vega, Tomás Ordoñez, Mariano Cueva y Luis Cordero.

Se realizó nuevamente un conteo volumétrico sobre éstas intersecciones durante los 15 minutos de máxima demanda, en el cual se especificó la cantidad de vehículos que giraron, ya sea a la izquierda o derecha (dependiendo de la intersección) y aquellos que se mantuvieron en la calle Lamar. Este conteo se lo realizó los días 13 y 14 de septiembre de 2012, con el fin de poder calcular la cantidad de automóviles directos equivalentes (ADE) que circulan en cada intersección. La tabla 3.2 muestra un resumen

UNIVERSIDAD DE CUENCA

de dicho conteo vehicular, en la cual se muestran también calculados los porcentajes de los vehículos que circulan en cada dirección.

TIPO DE VEHICULO		LIVIANOS				BUSES (2 EJES)				CAMIONES (2 EJES)						
DIRECCION		↑	↶	↷		↑	↶	↷		↑	↶	↷				
I N T E R S E C C I Ó N	MARISCAL LAMAR	104	(86%)	--	17	(14%)	8	(100%)	--	0	(0%)	3	(50%)	--	3	(50%)
	MANUEL VEGA	58	(55.2%)	47	--	(44.8%)	1	(100%)	0	--	(0%)	2	(66.7%)	1	--	(33.3%)
	MARISCAL LAMAR	118	(81.4%)	--	27	(18.6%)	1	(100%)	--	0	(0%)	3	(100%)	--	0	(0%)
	TOMAS ORDONEZ	49	(67.1%)	24	--	(32.9%)	6	(100%)	0	--	(0%)	1	(100%)	0	--	(0%)
	MARISCAL LAMAR	122	(78.2%)	--	34	(21.8%)	6	(100%)	--	0	(0%)	2	(100%)	--	0	(0%)
	MARIANO CUEVA	37	(54.4%)	31	--	(45.6%)	0	(0%)	0	--	(0%)	1	(100%)	0	--	(0%)
	MARISCAL LAMAR	109	(77.9%)	--	31	(22.1%)	7	(100%)	--	0	(0%)	2	(100%)	--	0	(0%)
	LUIS CORDERO	44	(62.9%)	26	--	(37.1%)	0	(0%)	0	--	(0%)	0	(0%)	0	--	(0%)

Tabla 3.2. Resumen del conteo vehicular sobre las cuatro intersecciones que presentan mayores flujos. Fuente: Elaborada por los autores de la monografía.

Una vez obtenidos estos porcentajes, podemos calcular la cantidad de vehículos que circulan en cada dirección durante la **hora de máxima demanda** en cada intersección multiplicando dichos porcentajes, por el número total de vehículos (registrados en la tabla 3.1), que corresponden a las 4 intersecciones que presentaron mayores flujos. Debido a que los datos presentados en la tabla 3.1 son correspondientes al flujo vehicular máximo **cada 15 minutos**, para obtener la hora de máxima demanda, a estos valores se los multiplicó por 4. En la tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos.

TIPO DE VEHICULO		LIVIANOS			BUSES (2 EJES)			CAMIONES (2 EJES)			Flujos mixtos totales Veh/hora		
DIRECCION		↑	↶	↷	↑	↶	↷	↑	↶	↷	↑	↶	↷
I N T E R S E C C I Ó N	MARISCAL LAMAR	739	--	121	24	--	0	12	--	12	775	--	133
	MANUEL VEGA	265	215	--	8	0	--	19	9	--	292	224	--
	MARISCAL LAMAR	713	--	163	36	--	0	20	--	0	769	--	163
	TOMAS ORDONEZ	260	128	--	28	0	--	0	0	--	288	128	--
	MARISCAL LAMAR	610	--	170	20	--	0	8	--	0	638	--	170
	MARIANO CUEVA	231	193	--	0	0	--	4	0	--	235	193	--
	MARISCAL LAMAR	604	--	172	28	--	0	8	--	0	640	--	172
	LUIS CORDERO	274	162	--	0	0	--	0	0	--	274	162	--

Tabla 3.3. Flujo vehicular (veh/hora) que circula en cada dirección sobre las cuatro intersecciones de mayor demanda. Fuente: Elaborada por los autores de la monografía.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Por lo tanto, aplicando la metodología mostrada en el ejemplo del numeral 1.6.3 del capítulo 1, en donde¹⁹: E_c = Automóviles equivalentes a un camión = 1.5 y E_b = Automóviles equivalentes a un autobús = 1.5, se puede calcular el flujo total de automóviles directos equivalentes (ADE/hora) en cada intersección, como se muestra en la tabla 3.4.

		Porcentaje Livianos	Porcentaje Buses	Porcentaje Camiones	Factor de ajuste veh. pesados (fvp)	Flujo recto (Veh/h)	Flujo que gira (Veh/h)	Flujo total (ADE/h)
INTERSECCIÓN CON LA CALLE LAMAR	MARISCAL LAMAR	94.7%	2.6%	2.6%	0.9997	816	196	1012
	MANUEL VEGA	93.0%	1.6%	5.4%	0.9997	307	331	638
	MARISCAL LAMAR	94.0%	3.9%	2.1%	0.9997	810	240	1050
	TOMAS ORDONEZ	93.3%	6.7%	0.0%	0.9997	304	188	492
	MARISCAL LAMAR	96.5%	2.5%	1.0%	0.9998	672	251	922
	MARIANO CUEVA	99.1%	0.0%	0.9%	1.0000	247	285	532
	MARISCAL LAMAR	95.6%	3.4%	1.0%	0.9998	674	253	927
	LUIS CORDERO	100.0%	0.0%	0.0%	1.0000	288	239	527

Tabla 3.4. Flujos de automóviles directos equivalentes (ADE/h) en las cuatro intersecciones de mayor demanda. Fuente: Elaborada por los autores de la monografía.

Este flujo de automóviles equivalentes directos se utilizará posteriormente para calcular el tiempo de ciclo óptimo para cada intersección.

3.2. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA DEL REINO UNIDO PARA DETERMINAR EL TIPO DE CONTROL RECOMENDADO PARA CADA INTERSECCIÓN.

Según la normativa utilizada en el Reino Unido en la ciudad de LEEDS, se puede aplicar el diagrama mostrado en la figura 3.2 para determinar el tipo de control que se debe implementar en las intersecciones de acuerdo al flujo que circula por sus aproximaciones²⁰. Esta recomendación es aplicable para vías de mayor importancia que la calle Mariscal Lamar, como es el caso de la avenida Huayna Capac ya que ésta cuenta con cuatro carriles y

¹⁹ Valor recomendado en el texto de Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones.

²⁰ Apuntes de clase. 2012. Curso de graduación "Vialidad, Transporte y Construcciones". Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

dos direcciones, pero como ejemplo de aplicación se determinará el tipo de control que se recomienda para las intersecciones de la calle Mariscal Lamar.

Para esto se deberá identificar cuál es la vía de mayor y de menor tráfico que compone la intersección y los **volúmenes diarios** que circulan por las mismas, los cuales estarán representados en los ejes “X” y “Y” respectivamente del diagrama. A partir de estos dos datos, trazamos perpendiculares a ambos ejes y según el área donde éstas se crucen se determinará el tipo de control recomendado en la intersección.

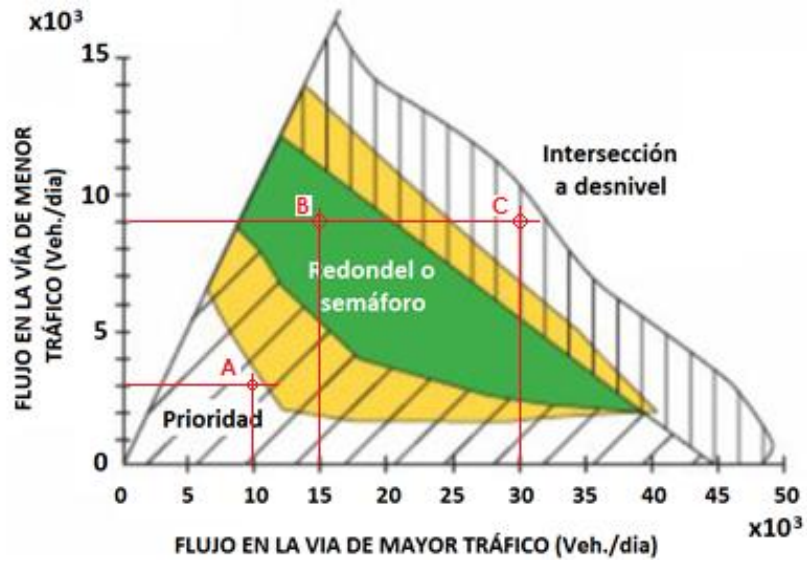


Figura 3.2. Selección del tipo de control para una intersección, según la normativa del Reino Unido

En donde:

- **Prioridad:** Este tipo de control da preferencia a la vía de mayor tráfico mediante el uso de señales preventivas como las mostradas en la figura 3.3:



Figura 3.3. Señales de tránsito utilizadas para dar prioridad al tráfico de una vía sobre otra.

- **Redondel o Semáforo:** A medida que vaya aumentando el flujo en la vía de menor tráfico, se puede optar por el uso tanto de señales de

UNIVERSIDAD DE CUENCA

prioridad como la implantación de semáforos o redondeles (Zona de color amarillo) hasta que se llega a un punto donde el uso de éstos últimos se vuelve prioritaria.

- Intersecciones a desnivel: en este caso el término “control de la intersección” pierde un poco de sentido ya que se trata más bien de un tipo de “ingreso” a la intersección de mayor flujo mediante un paso elevado (o como se lo conoce en nuestro medio: “paso deprimido”).

- *Ejemplo de aplicación de la normativa:*

Consideraremos tres casos de intersecciones (A, B y C), para las cuales se tienen los siguientes flujos diarios (24 horas). Si nos dirigimos al diagrama mostrado en el gráfico 3.2 podremos observar que para cada una de las intersecciones se recomienda el siguiente control:

INTERSECCION	Flujo en la vía de menor tráfico	Flujo en la vía de mayor tráfico	Tipo de control recomendado
A	3000	10000	PRIORIDAD
B	9000	15000	REDONDEL O SEMÁFORO
C	9000	30000	INTERSECCIÓN A DESNIVEL

Aplicando el diagrama del gráfico 3.2 como se mostró en el ejemplo de aplicación de la normativa, se obtiene la tabla 3.5 en la cual también se muestran los flujos totales diarios máximos (en vehículos livianos equivalentes por cada 24 horas), pertenecientes a las intersecciones en estudio y que corresponden a la semana del 30 de Julio al 05 de Agosto del 2012. Dichos datos han sido proporcionados por la dirección municipal de tránsito (DMT), a través el departamento de control de semaforización.

Calle transversal	Flujo en la calle Transversal (VLE/día)	Flujo en la calle Mariscal Lamar (VLE/día)	Tipo de control recomendado
Huayna capac	44187	8557	INTERSECCION A DESNIVEL
Manuel vega	4595	12328	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Tomas ordonez	5859	12224	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Vargas machuca	5634	11417	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Mariano cueva	6403	10884	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Hermano miguel	3362	11683	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Antonio borrero	10887	13133	REDONDEL O SEMÁFORO
Luis cordero	4174	11124	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Benigno malo	2682	11699	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO
Padre aguirre	4448	10912	PRIORIDAD/REDONDEL O SEMÁFORO

General torres	3388	9430	PRIORIDAD
Tarqui	2140	7614	PRIORIDAD

Tabla 3.5. Tipos de control recomendados en las intersecciones de la calle Mariscal Lamar con sus transversales. Fuente: Elaborado por los autores de la monografía.

Como se puede observar, en la intersección con la avenida Huayna Capac, la cual es más importante que la calle Mariscal Lamar, se recomienda un paso a desnivel, y a partir de la calle General Torres se recomienda el uso de señales de prioridad para el control de la intersección. Debido a la cantidad importante de peatones en el centro de la ciudad, creemos que en las calles en donde se recomienda cualquiera de los dos tipos de control para la intersección (Prioridad/semáforo o redondel), es mejor el uso de semáforos ya que proporciona una mayor seguridad cuando el peatón cruza de una acera a otra.

3.3. CAPACIDAD DE LAS APROXIMACIONES A CADA INTERSECCIÓN

Esta capacidad nos indica el máximo flujo que se puede presentar en las intersecciones tomando en cuenta las demoras por arranque y parada, siempre y cuando existe un flujo ideal de tránsito, es decir un flujo continuo sin paradas durante el intervalo de luz verde.

La capacidad de aproximación viene dada por la siguiente expresión²¹:

$$\text{Capacidad de Aproximación} = \frac{g * s}{C} \quad [VLE/hora] \quad (\text{ec 3.1})$$

Donde g = tiempo efectivo de verde

s = flujo de saturación de esa aproximación (vle)

C = tiempo de ciclo del semáforo de la intersección

Tiempo efectivo de verde

Es aquel tiempo que es utilizado efectivamente por los movimientos de los vehículos. Este tiempo es igual al tiempo total de luz verde más el tiempo de luz ámbar menos el tiempo perdido causado por los movimientos de “arranque – parada”. El tiempo perdido por movimientos de arranque –

²¹ Apuntes de clase. 2012. Curso de graduación “Vialidad, Transporte y Construcciones”. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

parada será aproximadamente de 2 segundos: 1.5 segundos al comienzo de la luz verde y 0.5 segundos al final de la luz ámbar.¹⁶

Flujo de Saturación²²

La tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que a pesar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo.

Las condiciones prevalecientes del tránsito incluyen los volúmenes por tipo de movimiento (izquierda, directo, derecha), su composición vehicular (automóviles, buses y camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de buses 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.

El flujo de saturación se expresa en vehículos por hora de luz verde, y puede determinarse mediante la siguiente expresión²³:

$$S_i = S_o \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \quad (ec\ 3.2)$$

Donde:

S_i = tasa de flujo de saturación del grupo i de carriles (veh./hora verde)

S_o = tasa de flujo de saturación base por carril (autos/hora /carril)

N = Número de carriles del grupo de carriles

f_w = factor de ajuste por ancho de carriles

Nota: El factor f_w depende del ancho promedio del carril en un grupo de carriles. Se usa para considerar tanto la reducción del flujo de saturación cuando el ancho de carriles es menor que 3.6 metros, así como el aumento del flujo de saturación si el ancho de los carriles es mayor que 3.6 metros.

f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso

²² Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (2000). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfa omega

UNIVERSIDAD DE CUENCA

f_p = factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb}

= factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección

f_a = factor de ajuste por tipo de área

f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carriles

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

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

En la tabla 3.6 se resume el cálculo de cada uno de los factores de la ecuación 3.2²³:

Factor	Fórmula	Definición de variables	Notas
Ancho de carril	$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$	W = ancho de carril (m)	W ≥ 2.4 Utilizar fórmula Si W ≥ 4.8, analizar como dos carriles
Vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}$	%HV=porcentaje de vehículos pesados del grupo	ET=2.4autos/pesado
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G=porcentaje de pendiente del acceso	-6 ≤ %G ≤ +10 Negativa en descensos
Estacionamiento	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N=número de carriles del grupo Nm=número de maniobras de estacionamiento/h	0 ≤ N _m ≤ 180 f _p ≥ 0.050 f _p = 1000 sin estacionamiento
Bloqueo de buses	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3600}}{N}$	N=número de carriles del grupo NB=número de buses que paran por hora	0 ≤ N _B ≤ 250 f _{bb} ≥ 0.050
Tipo de área	fa=0.900 en CBD fa=1 en otras áreas	CBD= Distrito Central de Negocios (Centro de la Ciudad)	
Utilización de carriles	$f_{LU} = \frac{Vg}{V_{g1}N}$	Vg=tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril (veh/h) Vg1=tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen mas alto del grupo N=número de carriles del grupo	
Vueltas a la izquierda	Fase Protegida: Carril exclusivo: $f_{LT} = 0.95$ Carril compartido: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05PLT}$	PLT=proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles	

²³ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (2000). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfa omega

<p>Vueltas a la derecha</p>	<p>Carril exclusivo: $f_{RT} = 0.85$</p> <p>Carril comparativo: $f_{RT} = 1 - 0.15P_{RT}$</p> <p>Carril simple: $f_{RT} = 1 - 0.135P_{RT}$</p>	<p>PRT=proporción de vueltas a la derecha den el grupo de carriles</p>	<p>$f_{RT} \geq 0.050$</p>
<p>Bloqueo por peatones y bicicletas</p>	<p>Ajuste: LT $f_{Lpb} = 1 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA})$</p> <p>Ajuste: RT $f_{Rpb} = 1 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$</p>	<p>PLT=proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles ApbT=ajuste a la fase permitida PLTA=proporción de vueltas a la izquierda que usan la fase protegida PRT=proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles. PRTA=proporción de vueltas a la derecha que usan la fase protegida</p>	

Tabla 3.6 Procedimiento para encontrar los factores de la ecuación del flujo de saturación. Fuente: TRB Highway Capacity Manual. HCM 2000

A continuación se detallara el procedimiento el procedimiento para encontrar el flujo de saturación de la calle Mariscal Lamar comprendida entre la Av. Huayna Capac y Mariano Cueva.

Se parte de la hipótesis de que el flujo de saturación en condiciones ideales es de 1900 VLE/hora de luz verde²⁴ por carril.

Número de Carriles 2 (N=2)

El ancho total de calzada 11.80 m. Debido a que es permitido el parqueo al costado izquierdo de la vía, se restarán 3 metros del total de ancho de la calzada (2 metros correspondientes a la zona de parqueo y 1 metro tomando en cuenta la seguridad prevista por los conductores al momento de conducir), por lo tanto cada carril tendrá 4.4 metros de ancho.

$$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9} = 1 + \frac{4.4 - 3.6}{9} = 1.09$$

El porcentaje de pesados en el tramo es 5.2%

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)} = \frac{100}{100 + 5.2(2.4 - 1)} = 0.932$$

La gradiente de la Calle Mariscar Lamar es 1%.

$$f_g = 1 - \frac{\%G}{200} = 1 - \frac{1}{200} = 0.995$$

²⁴ Valor recomendado en el texto de Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Debido a que el parqueo si es permitido en el costado izquierdo de la vía, entonces se deberá considerar el factor de estacionamiento f_p . El estacionamiento en la vía pública dentro de los 80 metros antes de la línea de alto de una intersección causa conflicto entre los vehículos que se estacionan y los que no se estacionan, lo que conduce a una reducción de la tasa máxima de flujo que puede manejar el grupo de carriles adyacente. El factor de estacionamiento depende del número de carriles en el grupo y el número de maniobras de estacionamiento por hora. Para la determinación de este factor se supone que cada maniobra de estacionamiento (ya sea de entrada o salida), bloquea el tránsito en el grupo adyacente de carriles para una duración promedio de 18 segundos. Debe observarse que cuando el número de maniobras por hora de estacionamiento sea mayor que 180 (Equivalente a más de 54 minutos), debe emplearse un límite práctico de 180. Este factor de ajuste debe aplicarse solamente al **grupo de carriles** inmediatamente adyacente al carril de estacionamiento. Cuando hay estacionamiento en ambos lados de un solo carril, debe sumarse el número de maniobras de estacionamiento de ambos lados.²⁵

Tomando en cuenta que los usuarios estacionan sus vehículos aproximadamente por lapsos de 1 hora a lo largo de los 80 metros de influencia (Con una distancia total entre vehículos de 8 metros aproximadamente), y el número de maniobras total durante dicha hora sea igual a 3 (2 por entrada y 1 por salida), entonces el número de maniobras de estacionamiento total por hora será igual a: $N_m = 80 \cdot 3 / 8 = 30$. Por lo tanto:

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} = \frac{2 - 0.1 - \frac{18 \cdot 30}{3600}}{2} = \mathbf{0.88}$$

El número de buses por pasa en este tramo es de 24buses/hora.

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3600}}{N} = \frac{2 - \frac{14.4(24)}{3600}}{2} = \mathbf{0.952}$$

Se considera que la calle Mariscal Lamar está ubicada en la zona central de la ciudad (CBD), por lo que se recomienda tomar **fa=0.900**.

²⁵ Garber, Nicholas J. Hoel, Lester A. (2004). Ingeniería de Tránsito y Carreteras. México: Litográfica Ingramex.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

El factor de *Utilización de Carril*, se toman los datos de la tabla 3.3 (Flujos Mixtos totales):

$$f_{LU} = \frac{Vg}{V_{g1}N} = \frac{775 + 133}{775 * 2} = \mathbf{0.585}$$

El factor $f_{LT}=1.0$ porque no existe giros a la izquierda.

El factor de vuelta a la derecha tenemos, tomando los valores obtenidos en la tabla 3.3:

$$f_{RT} = 1 - 0.15P_{RT} = 1 - 0.15 \left(\frac{183}{775 + 133} \right) = \mathbf{0.978}$$

El **factor por peatones** se toma **1**, porque existe paso cebra y semáforo para el paso de personas.

El **factor por bicicletas** se toma **1**, porque no existe control de paso para las mismas, ya que algunas circulan por las aceras, derecha o izquierda.

El **flujo de saturación** para la los **2** carriles de la calle Mariscal Lamar entre Hayna Capac y Manuel Vega es:

$$S = 1900 \cdot 2 \cdot 1.09 \cdot 0.932 \cdot 0.995 \cdot 0.88 \cdot 0.952 \cdot 0.9 \cdot 0.585 \cdot 1 \cdot 0.978 \cdot 1 \cdot 1$$

$$S = \mathbf{1648} \text{ vehiculos livianos equivalentes/hora de luz verde}$$

Con este procedimiento se realizara el cálculo de las 4 intersecciones con mayor flujo de vehículos mixtos. Los resultados de los factores y flujo de saturación se resumen en la tabla 3.7

		f_w	f_{HV}	f_g	f_p	f_{bb}	f_a	f_{LU}	f_{LT}	f_{RT}	f_{lbp}	f_{rpb}	Flujo saturacion VLE/hora
APROXIMACION A LA INTERSECCION CON LA CALLE LAMAR	MARISCAL LAMAR	1.089	0.932	0.995	0.875	0.952	0.900	0.586	1.000	0.978	1.000	1.000	1648
	MANUEL VEGA	1.067	0.911	0.995	0.875	0.984	0.900	0.884	0.979	1.000	1.000	1.000	2463
	MARISCAL LAMAR	1.089	0.923	0.995	0.875	0.928	0.900	0.606	0.991	1.000	1.000	1.000	1668
	TOMAS ORDONEZ	1.067	0.914	0.995	0.875	0.944	0.900	0.721	0.985	1.000	1.000	1.000	1947
	MARISCAL LAMAR	0.989	0.953	0.995	1.000	0.960	0.900	0.633	0.990	1.000	1.000	1.000	1930
	MARIANO CUEVA	0.978	0.988	0.995	1.000	1.000	0.900	0.912	0.978	1.000	1.000	1.000	2930
	MARISCAL LAMAR	1.000	0.942	0.995	1.000	0.944	0.900	0.634	1.000	0.968	1.000	1.000	1858
	LUIS CORDERO	1.000	1.000	0.995	0.750	1.000	0.900	1.591	0.982	1.000	1.000	1.000	1993

Tabla 3.7. Flujos de saturación de las aproximaciones a las intersecciones con la calle Mariscal Lamar

En la tabla 3.8 se muestra el resumen del cálculo de la capacidad de aproximación a cada una de las cuatro intersecciones con mayor flujo mixto total aplicando la ecuación 3.1:

Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE LAS APROXIMACIONES A LAS INTERSECCIONES CON LA CALLE MARISCAL LAMAR							
CALLE TRANSVERSAL	Tiempo de Luz verde + luz ámbar (seg)		g = Tiempo efectivo de verde (seg)		C = tiempo de ciclo del semáforo (seg)	CAPACIDAD DE LA APROXIMACION (VLE/hora)	
	Calle transversal	Calle Mariscal Lamar	Calle transversal	Calle Mariscal Lamar		Calle transversal	Calle Mariscal Lamar
MANUEL VEGA	48.0	70.1	46.0	68.1	119.1	952	942
TOMAS ORDONEZ	49.4	65.0	47.4	63.0	115.4	800	910
MARIANO CUEVA	42.5	63.7	40.5	61.7	107.3	1107	1111
LUIS CORDERO	60.8	59.4	58.8	57.4	121.1	967	880

Tabla 3.8. Capacidad de las aproximaciones a las intersecciones con la calle Mariscal Lamar con mayor flujo mixto total.

Nota:

- Los tiempos de luz verde + luz ámbar y tiempos de ciclo de los semáforos “C” se obtuvieron de la tabla 2.2, del capítulo 2 (pág. 26).
- El tiempo efectivo de verde se calculó restando el tiempo de luz verde + luz ámbar menos 2 segundos, como se explicó anteriormente.

4. CAPÍTULO 4

CÁLCULOS TEÓRICOS DE LOS PARÁMETROS DE CADA SEMÁFORO

Para lograr un abastecimiento continuo de tráfico y evitar un congestionamiento excesivo en las intersecciones semaforizadas, es necesario contar con un sistema de paso continuo a medida que se circula en una vía, para ello se han desarrollado metodologías muy conocidas y aplicadas alrededor del mundo, una de ellas son las ecuaciones planteadas por Webster y Cobbe en el año de 1966, desde entonces han sido universalmente aplicadas hasta la actualidad. Con conocer los datos de flujo de tráfico y geometría de la intersección se puede obtener los parámetros de diseño y quedar determinado los tiempos óptimos de los diferentes intervalos de fases que satisfaga el flujo de tránsito. En este capítulo se desarrollara esta teoría con los datos de tráfico obtenidos en campo.

4.1. CÁLCULO TEÓRICO DEL NÚMERO DE FASES PARA CADA SEMÁFORO Y LA SECUENCIA DE LAS MISMAS

En muchos de los casos en las intersecciones cuyas vías consten de dos direcciones, suele ser necesario implementar fases especiales en los semáforos como por ejemplo una luz verde para giro a la derecha, izquierda, paso de bicicletas, motocicletas, peatones, etc. o bien la restricción de los mismos mediante luz roja. En la siguiente figura 4.1 se muestra un ejemplo de un semáforo de varias fases que dan prioridad a giros incluyendo la circulación de bicicletas en algunos de ellos:



Figura 4.1. *Semáforo de varias fases.*

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Estos casos suelen ser recomendables para cuando dichas fases beneficien a un buen porcentaje del tráfico. En nuestro caso no tendría sentido la implementación de otra fase ya que nuestra vía en estudio consta de una sola dirección Este – Oeste y giro en las calles transversales. El tipo de semáforo implementado actualmente en todas las intersecciones (2 fases) sería el más recomendable, las fases de los semáforos tienen la misma secuencia de colores (roja, ámbar, verde), en donde la secuencia de los intervalos de cada fase se dispone en la figura 4.2:

Intervalo 3: Luz roja

Intervalo 2: Luz ámbar

Intervalo 1: Luz verde



Figura 4.2 Colores de los intervalos de las

La calle Lamar que es la vía en estudio, en todas sus intersecciones al ser unidireccional el tráfico, se debe implementar semáforos de dos fases:

Fase 1: Que permita el paso de vehículos en la calle Lamar en dirección Este/Oeste, durante el tiempo de verde, podrán dentro de la misma fase girar solo hacia la derecha o solo hacia la izquierda dependiendo de la dirección que tenga la vía de la intersección, debido a que cada intersección tiene una dirección determinada. En la figura 4.3.a se ilustra los movimientos permitidos durante el intervalo de tiempo verde de la fase 1, en 3 de las intersecciones de la calle Lamar.

Fase 2: Restringe el paso a la Calle Mariscal Lamar, tienen verde las calles transversales que llegan a ésta intersección, pueden circular en sentido Norte/Sur y Sur/Norte dependiendo de la intersección que sea, con opción a girar en dirección oeste como indica la figura 4.3.b.

FASE 1: PASO PARA LA CALLE LAMAR

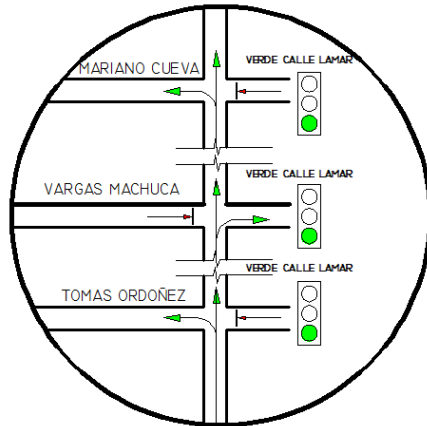


Figura 4.3.a FASE 1 Verde: Calle Lamar

FASE 2: ROJO PARA LA CALLE LAMAR

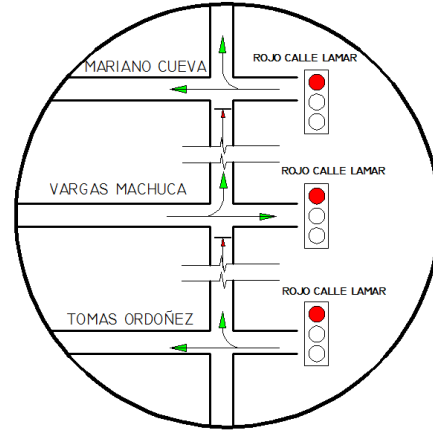


Figura 4.3.b FASE 2 Rojo: Calle Lamar

4.2. CÁLCULO TEÓRICO DE LOS TIEMPOS DE CICLO ÓPTIMOS PARA LOS SEMÁFOROS DE LAS INTERSECCIONES DE MAYOR DEMANDA

Para el cálculo de los tiempos de ciclo óptimo, utilizaremos los valores de los flujos de automóviles directos equivalentes pertenecientes a las cuatro intersecciones de mayor demanda, expuestos en la tabla 3.4 del capítulo 3 (pág. 30). Se ha calculado el tiempo de ciclo óptimo para las intersecciones de mayor demanda ya que éstas nos darán tiempos de ciclo mayores que aquellas intersecciones con menores flujos vehiculares.

Los valores de los tiempos de: **intervalo de cambio de fase y longitud del ciclo óptimo** en las intersecciones, se diseñarán considerando tres velocidades diferentes: 30km/h, 40km/h y 50km/h, con el fin de obtener resultados apegados a dos realidades diferentes. La velocidad de 30km/h cuando se encuentra en las horas de máxima demanda en donde la velocidad de circulación es muy baja debido al alto tráfico, y la velocidad de 50km/h es diseñada para cuando el flujo de vehículos disminuye, esta velocidad que es la máxima permitida en la ciudad de Cuenca es una velocidad que si se puede dar en esta vía durante la noche ya que el tráfico disminuye a esas horas.

Este diseño de tres velocidades se realizara con el fin de recomendar dos tiempos de ciclos, una cuando exista mayor flujo de vehículos y otra en la horas de menos congestión.

4.2.1. CÁLCULO DE FLUJOS DE SATURACIÓN

Entonces se utilizarán los valores encontrados para el cálculo de la capacidad de las aproximaciones a las intersecciones, los cuales se encuentran expuestos en la tabla 3.7 en el numeral 3.3.

4.2.2. CÁLCULO DE TIEMPOS PERDIDOS E INTERVALOS DE CAMBIO DE FASE

El tiempo de pérdida total (L) para cada **ciclo** será igual a la suma de la duración del intervalo de ámbar de cada fase más sus períodos de todo rojo “TR” como se muestra a continuación:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR \quad (ec\ 4.1)$$

Donde:

l_i es igual al período ámbar de la fase i

TR es igual a la suma de los intervalos de todo rojo del ciclo

Cálculo de los intervalos de ámbar y todo rojo (Intervalo de cambio de fase)

Como se indicó en el capítulo 1 en la sección 1.1.6. el intervalo de cambio de fase viene expresado por la suma de los intervalos de ámbar y todo rojo de un ciclo.

Intervalo de cambio = Ámbar + Todo rojo.

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

Se mostrara tres valores de intervalos de cambio de fase correspondiente a velocidades de 30 km/h 40km/h y 50 km/h.

INTERVALO DE CAMBIO DE FASE				
	km/h	AMBAR	TODO ROJO	y (seg)
v =	30	2.4	1.7	4
v =	40	2.8	1.3	4
v =	50	3.3	1.0	4

El tiempo de 4 segundos es recurrente para el rango de 30km/h a 50km/h.

Por consiguiente en nuestro diseño se tomara los siguientes tiempos:

Intervalo ámbar	Intervalo todo rojo	Intervalo de cambio de fase
3 segundos	1 segundo	4 segundos

Por lo tanto reemplazando en la siguiente ecuación:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR \quad (\text{ec 4.2})$$

Se tiene:

$$L = l_1 + l_2 + TR$$

$$L = (3 + 3) + (1 + 1) = 8 \text{ segundos}$$

En consecuencia el intervalo de cambio de fase es igual a 8 segundos.

4.2.3. CÁLCULO DE TIEMPOS DE CICLO ÓPTIMO

Para calcular el tiempo de ciclo óptimo o tiempo de ciclo mínimo en cada intersección, el cual permitirá a todo el tráfico que está esperando la señal verde pasar por la intersección, deberemos conocer los valores “y” de las mismas. El valor “y” en cada aproximación es igual a la relación entre el flujo existente en la misma dividido para su flujo de saturación.

$$y = \frac{q (\text{Flujo existente en ADE/hora})}{S (\text{Flujo de saturación en VLE/hora})} \quad (\text{ec 4.3})$$

El valor del “ y_{total} ” será la suma del valor “y” máximo para cada ingreso a la intersección; en el siguiente ejemplo²⁶ se ilustra este cálculo:

Ejemplo 4.1 Cálculo del valor del y_{total}

Se desea calcular el valor del y_{total} en una intersección de doble sentido en sus dos vías, cuyo tráfico está controlado por un semáforo de 2 fases; se tienen los siguientes datos de tráfico, con un flujo de saturación de 1800 vehículos/hora de luz verde:

²⁶ Apuntes de clase. 2012. Curso de graduación “Vialidad, Transporte y Construcciones”. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca.

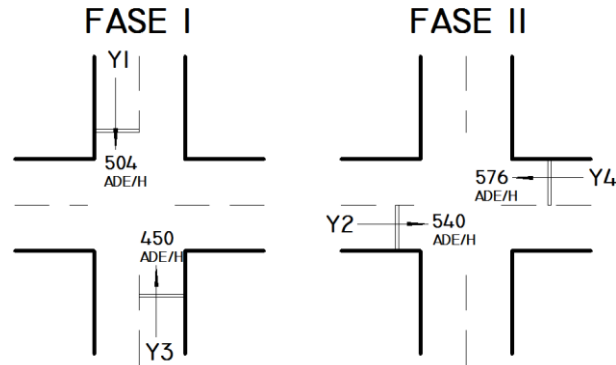


FIGURA 4.4 Valores de Tráfico en la Intersección y ubicación de “y” en cada fase

Con los datos de los Automóviles Directos Equivalentes, calculamos los y_i aplicando la ecuación 4.3.

$$y_1 = \frac{504}{1800} = 0.28$$

$$y_2 = \frac{540}{1800} = 0.30$$

$$y_3 = \frac{450}{1800} = 0.25$$

$$y_4 = \frac{576}{1800} = 0.32$$

Para obtener el valor de “y” tendremos que sumar el mayor y_i de cada fase, en nuestro ejemplo, se toma el mayor entre y_1, y_3 correspondiente a la fase I que es 0.28, como también el mayor valor de y_2, y_4 de la fase II que es 0.32. Por lo tanto el valor del y_{total} será:

$$y_{total} = 0.28 + 0.32 = 0.60$$

El procedimiento de este ejemplo nos servirá como guía para el cálculo de nuestros valores de “y” en cada intersección.

Tiempo de ciclo mínimo

El tiempo de ciclo mínimo necesario para permitir a todos los vehículos que esperan la luz verde pasar por la intersección, se calcula mediante la siguiente expresión²⁶

$$C_m = \frac{L}{1 - y} \quad (ec. 4.4)$$

Donde “L” es el tiempo perdido total durante el ciclo (8 segundos).

Se ha investigado la relación entre la demora del tráfico y los tiempos óptimos de los ciclos de los semáforos. Y se ha determinado que el tiempo de ciclo óptimo se calcula mediante la siguiente expresión:²⁷

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - y} \text{ segundos} \quad (\text{ec 4.5})$$

El tiempo de ciclo óptimo dará la demora mínima para los movimientos de los vehículos. Como se muestra en la figura 4.5 la demora no se incrementará mucho si el tiempo de ciclo está dentro del límite $0.75C_o - 1.5C_o$:

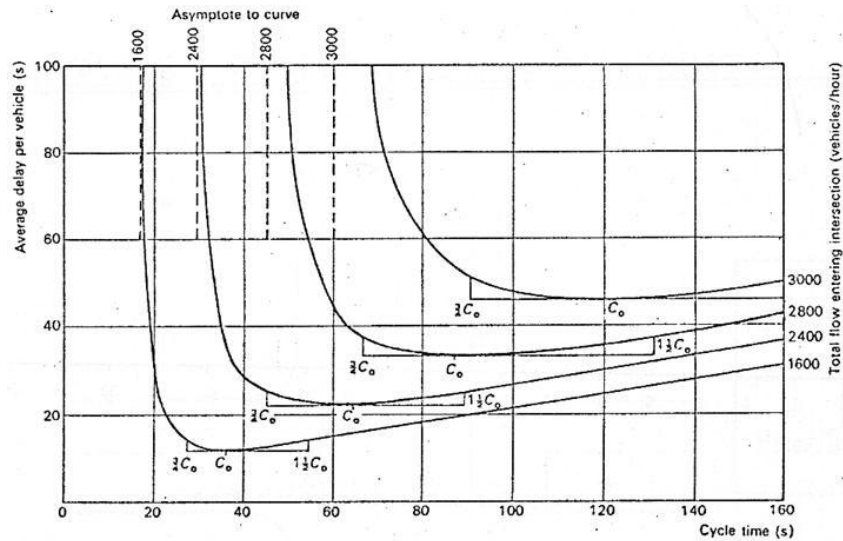


Figura 4.5. Demoras no se incrementan dentro del límite $0.75C_o - 1.5C_o$

Por lo tanto se puede escoger valores dentro de este rango para el tiempo de ciclo óptimo, sin que el tiempo de demoras se vea afectado de forma considerable.

Aplicación del cálculo a nuestros datos.

Como se indicó, se calcularán los tiempos de ciclo óptimo únicamente para las cuatro intersecciones de mayor demanda, debido a que éstas nos darán tiempos mínimos mayores a los de las

²⁷ Apuntes de clase. 2012. Curso de graduación “Vialidad, Transporte y Construcciones”. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca.

demás intersecciones, los valores de ADE/h de cada una de estas intersecciones se indica en la figura 4.6.

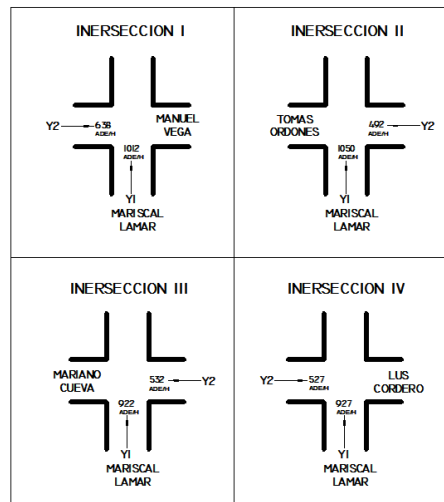


Figura 4.6 Flujos de tráfico de las Intersecciones que se va a analizar.

En la tabla 4.1 se muestra los valores de “y1” y “y2” de las 4 intersecciones estos valores se obtuvieron aplicando la ecuación 4.3, y el valor de y_{total} es igual a la suma de $y1+y2$ en cada una de las intersecciones indicadas.

	CALLE LAMAR			CALLE TRANSVERSAL			Y total
	qADE (flujo Existe)	S (flujo de Saturacion)	Yi	qADE (flujo Existe)	S (flujo de Saturacion)	Yi	
MANUEL VEGA	1012	1648	0.61	638	2463	0.26	0.87
TOMAS ORDONEZ	1050	1668	0.63	492	1947	0.25	0.88
MARIANO CUEVA	922	1930	0.48	532	2930	0.18	0.66
LUIS CORDERO	927	1858	0.50	527	1993	0.26	0.76

Tabla 4.1. Valores de “y” para las cuatro intersecciones de mayor flujo mixto

Una vez obtenido el valor de y_{total} , calcularemos el tiempo de ciclo óptimo para cada una de las intersecciones, con el rango de velocidades recomendadas. Reemplazando y_{total} en la ecuación 4.5, se obtiene los resultados en la tabla 4.2:

Intersección con la calle Lamar	Valor de "y total"	Ciclo óptimo (seg)		
		v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
MANUEL VEGA	0.87	133	133	138
TOMAS ORDONEZ	0.88	144	144	149
MARIANO CUEVA	0.66	51	51	52
LUIS CORDERO	0.76	72	72	74

Tabla 4.2. *Tiempos de ciclo óptimo para las cuatro intersecciones de mayor demanda.*

Podemos observar que para las velocidades de 30km/h y 40km/h tenemos el mismo tiempo de ciclo óptimo, esto se debe a que el valor del tiempo perdido del ciclo (L) para estas dos velocidades son de 8.11 seg. y 8.18 seg. respectivamente, y a ambos valores se los redondeo a 8 segundos.

El ciclo mínimo que se tomara para todas las intersecciones será el mayor de los ciclos óptimos calculados, en nuestro caso se observa que éste corresponde a la intersección con la calle Tomás Ordoñez y es igual a 144 segundos para la velocidad de 30 km/h y 149 segundos para la velocidad de 50km/h, a estos valores se los redondeara a 145 y 150 segundos respectivamente como recomienda la bibliografía²⁸.

Velocidad de circulación	v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
Tiempo de ciclo adoptado (seg)	145	145	150

Los valores redondeados adoptados para las tres velocidades, no deben exceder el rango de ciclo óptimo calculado, mediante el siguiente rango $0.75C_0 - 1.5C_0$:

$$0.75C_0 < \text{Tiempo Redondeado} < 1.5C_0$$

	0.75 * C _o	Tiempo de ciclo adoptado	1.5 * C _o
v = 30 km/h	108	145	216
v = 40 km/h	108	145	216
v = 50 km/h	112	150	223

En consecuencia, se pueden utilizar dichos valores de tiempos de ciclo sin que se incrementen las demoras.

²⁸ Recomendación del texto, Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

4.2.4. CÁLCULO DE TIEMPO EFECTIVO DE VERDE

El tiempo efectivo de verde es aquel tiempo que es utilizado efectivamente por los movimientos de los vehículos. El tiempo de verde efectivo total g_T , disponible por ciclo para todos los accesos de la intersección está dado por:²⁹

$$g_T = C - L = C - \left[\left(\sum_{i=1}^n l_i \right) + TR \right]$$

Donde:

- g_T = tiempo de verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos
- C = Longitud actual del ciclo (Redondeando el tiempo de ciclo óptimo a los 5 segundos mas cercano)
- El término $[(\sum_{i=1}^n l_i) + TR]$ es la pérdida total (8 segundos)

Al reemplazar los datos de C_{cr} y L (Correspondientes a la intersección con la calle Manuel Vega) en la formula se obtienen los siguientes tiempos de verde efectivos:

Velocidad de circulación	v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
Tiempo de verde efectivo (seg)	137	137	142

4.3. REPARTO DEL TIEMPO DE CICLO ENTRE FASES

Una vez calculado el tiempo de ciclo crítico se repartirá el mismo para las diferentes fases como se muestra a continuación.

²⁹ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

4.3.1. Asignación del tiempo de luz verde

Para obtener una demora total mínima en la intersección, el tiempo de verde efectivo total g_T debe distribuirse entre las diferentes fases en proporción a sus valores de “ y_i ”, así³⁰:

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} (g_T) = \frac{y_i}{y_1 + y_2 + y_3 \dots + y_n} (g_T)$$

Y como se demostró en la ecuación 11 del capítulo 1:

$$G_i = g_i + l_i - A_i$$

Donde:

G_i es el tiempo de verde total para la fase i

g_i es el tiempo de verde efectivo en la fase i

l_i es el tiempo perdido en la fase i

A_i es el intervalo ámbar de la fase i

O lo que es lo mismo para 2 fases:

$$G_1 = g_1 + l_1 - A_1$$

$$G_2 = g_2 + l_2 - A_2$$

Debido a que el mayor tiempo de ciclo calculado corresponde a la intersección con la calle Tomás Ordoñez, entonces se utilizarán los valores de “ y ” de esa intersección para distribuir el tiempo de ciclo entre fases. Los valores de “ y ” correspondientes a dicha intersección son los siguientes:

$$y_{total} = 0.88 \begin{cases} y_1 = 0.63 \\ y_2 = 0.25 \end{cases}$$

Donde y_1 corresponde al flujo de la calle Mariscal Lamar y y_2 a la calle Tomás Ordoñez. Distribuyendo el tiempo de verde efectivo total entre las dos fases de la intersección, se obtiene:

$$g_1 = \frac{y_1}{y_1 + y_2} (g_T)$$

³⁰ Cal, R. y Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega

Velocidad de circulación	v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
g₁ (seg)	98	98	102
g₂ (seg)	39	39	40

Como se indicó, los tiempos de verde reales se calcularán mediante la siguiente expresión:

$$G_i = g_i + l_i - A_i$$

Pero como se dedujo en la ecuación 7.1 del capítulo 1: $l_i = A_i$, por lo tanto

Velocidad de circulación	v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
G₁ (seg)	98	98	102
G₂ (seg)	39	39	40

4.3.2. Asignación del tiempo de luz roja

Como ya se tienen los valores del ciclo completo, luz ámbar y luz verde, podemos encontrar el tiempo de luz roja el cual será igual a:

$$LR_i = C_{cr} - A_i - TR - G_i$$

Velocidad de circulación	v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
LR₁	44	44	45
LR₂	103	103	107

5. CAPÍTULO 5

SINCRONIZACIÓN DE LOS SEMÁFOROS

Si bien el diseño de un semáforo aislado para una sola intersección se lo puede realizar simplemente al analizar el tráfico que circula por la misma, al momento de considerarlo en conjunto, el diseño se puede complicar a tal punto que existen grandes empresas a nivel internacional que proporcionan sistemas de semaforización controlados por sofisticados programas de computadora que trabajan de forma continua. En nuestro caso se cuenta con un conjunto de semáforos presentados consecutivamente a lo largo de una vía, para cuyo diseño no se considerará el resto de la red de semaforización del centro de la ciudad.

El objetivo de la sincronización en nuestro diseño de los semáforos será de presentar una “ola de verde” de tal manera que se permita un flujo continuo del tráfico a lo largo de la vía; no obstante cabe recalcar que este tipo de diseño no considera los obstáculos que eventualmente se presentan de forma constante como por ejemplo el estacionamiento de vehículos al costado de la vía y otros.

5.1. CÁLCULO DEL TIEMPO DE DESFASE ÓPTIMO ENTRE SEMÁFOROS CONSECUTIVOS A LO LARGO DE LA VÍA.

El tiempo de desfase óptimo será aquel correspondiente al tiempo que le toma a un vehículo liviano equivalente recorrer la distancia existente entre dos semáforos consecutivos. Es decir que el desfase se aplicará de tal manera que el vehículo que está esperando la señal de verde en la primera intersección en estudio, llegue a la siguiente intersección viajando a una velocidad promedio y encuentre la señal de verde, y así sucesivamente hasta donde sea posible permitir un flujo constante del tráfico.

Para una mayor precisión, las distancias entre semáforos consecutivos han sido obtenidas del plano predial de Cuenca y se muestran en la siguiente Figura 5.1

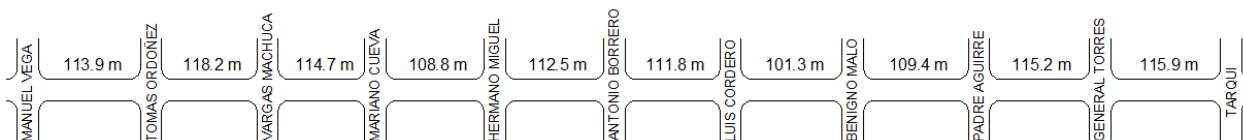


Figura 5.1 Distancias existentes de semáforo a semáforo consecutivos a lo largo de la vía.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Considerando una velocidad uniforme de viaje de los vehículos, se puede calcular el tiempo de desfase (T) mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{e}{V}$$

Donde $e = \text{distancia existente entre semáforos consecutivos}$

$V = \text{velocidad de viaje}$

En la Tabla 5.1 se muestran los tiempos de desfase (en segundos) calculados para la sincronización de los semáforos, a diferentes velocidades de viaje de los vehículos.

	TIEMPOS DE DESFASE PARA LAS 3 VELOCIDADES DE DISEÑO EN LA CALLE LAMAR (seg)		
	VELOCIDAD		
	30 km/h	40 km/h	50km/h
MANUEL VEGA	0.0	0.0	0.0
TOMAS ORDONEZ	13.7	10.3	8.2
VARGAS MACHUCA	14.2	10.6	8.5
MARIANO CUEVA	13.8	10.3	8.3
HERMANO MIGUEL	13.1	9.8	7.8
ANTONIO BORRERO	13.5	10.1	8.1
LUIS CORDERO	13.4	10.1	8.1
BENIGNO MALO	12.2	9.1	7.3
PADRE AGUIRRE	13.1	9.8	7.9
GENERAL TORRES	13.8	10.4	8.3
TARQUI	13.9	10.4	8.3

Tabla 5.1. *Tiempos de desfases (seg.) calculados para la sincronización de los semáforos.*

5.2. REALIZACIÓN DEL MODELO BÁSICO DEL FLUJO DE SATURACIÓN

El modelo básico del flujo de saturación (Figuras 5.2.a y 5.2.b) de la calle Mariscal Lamar y Tomás Ordoñez que fue la intersección que determino los tiempos de ciclo, nos permite ilustrar la dinámica de los vehículos a lo largo

UNIVERSIDAD DE CUENCA

del tiempo de verde, además que se muestra el punto al cual el flujo llega a la saturación y las demoras producidas tanto al inicio como al fin de dicho período.

FIGURA 5.2.a MODELO BASICO DEL FLUJO DE SATURACION PARA V=30KM/H Y V=40KM/H

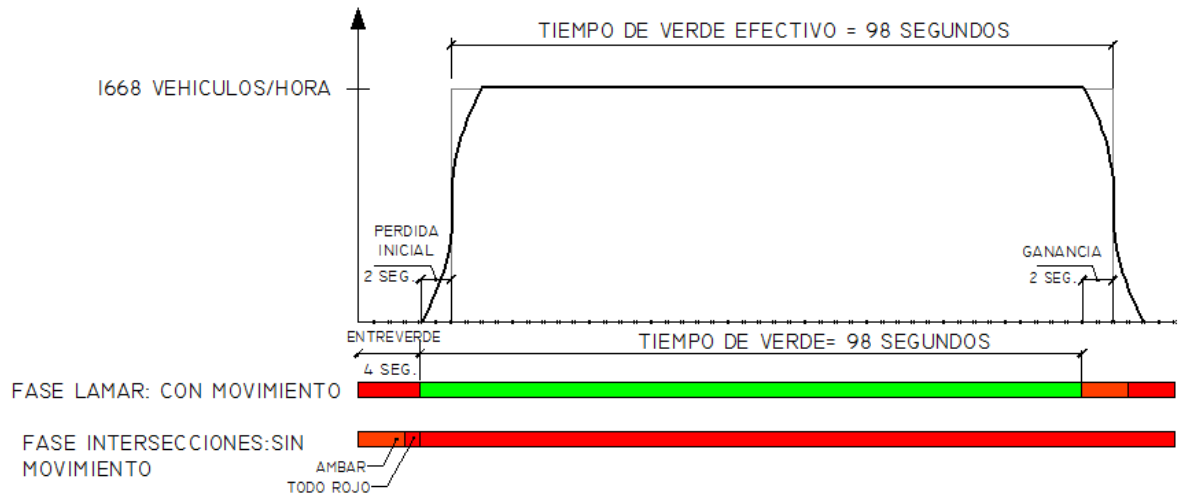
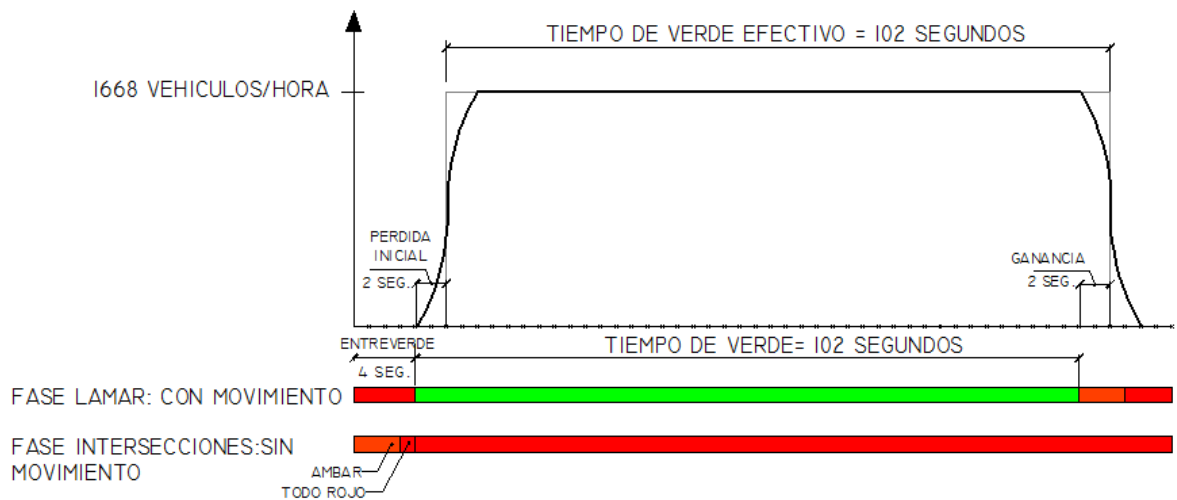


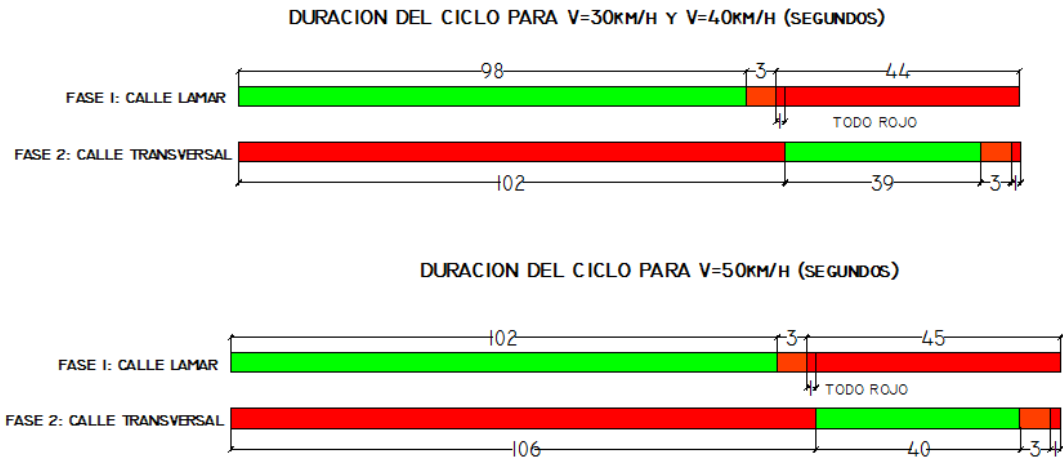
FIGURA 5.2.b MODELO BASICO DEL FLUJO DE SATURACION PARA V=50KM/H



Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo

La distribución de los tiempos de los ciclos en las fases se ilustran en la figura 5.2.c.

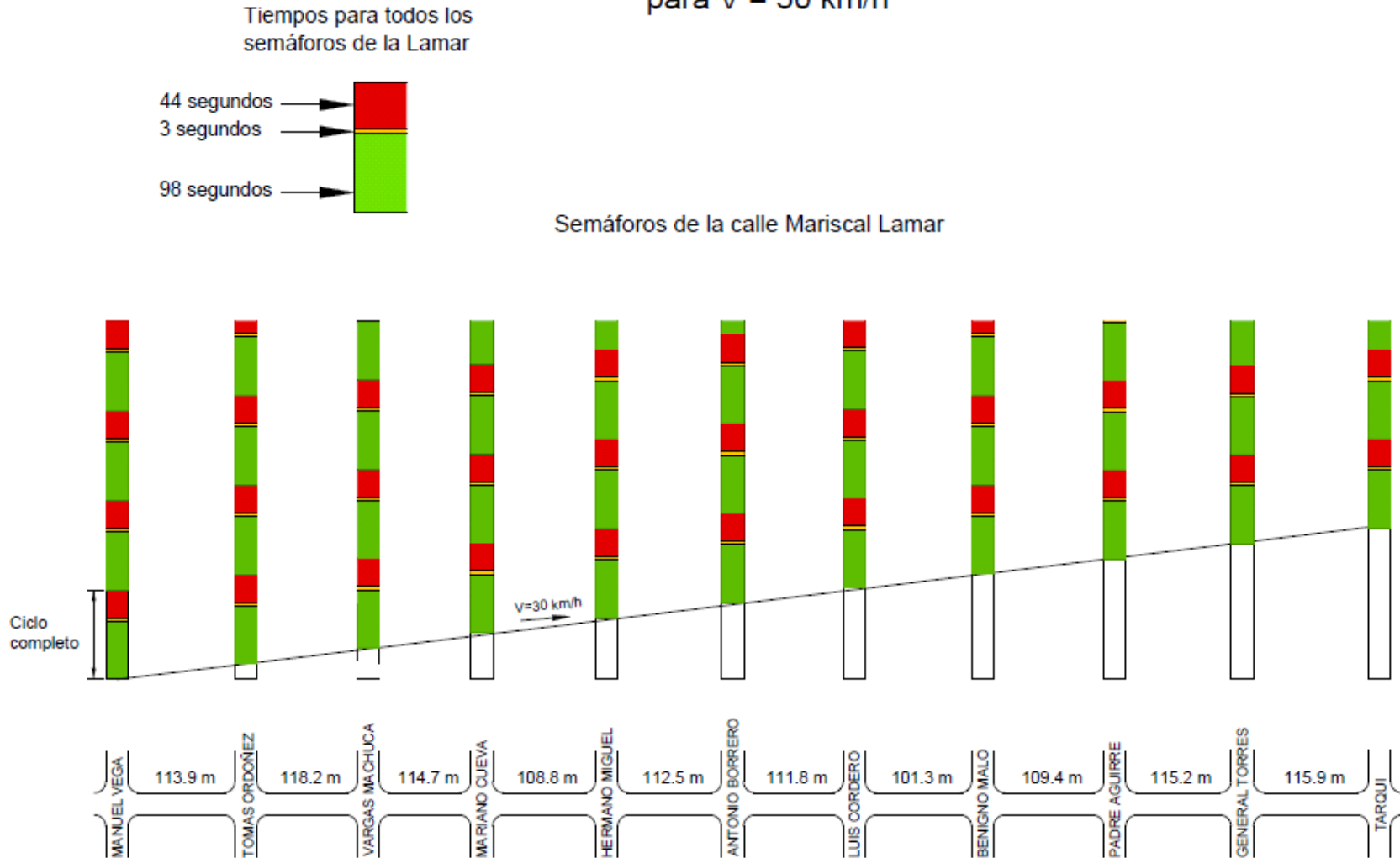
FIGURA 5.2.c. DISTRIBUCION DE LOS TIEMPOS DE LOS CICLOS EN LAS FASES



5.3. DIAGRAMA TIEMPO - ESPACIO

Una vez encontrados los tiempos de ciclos y de desfases que se asignará a los semáforos, podemos realizar el diagrama tiempo – espacio (Figuras 5.3.a, 5.3.b y 5.3.c) el cual nos permite comprobar el buen funcionamiento del diseño de los mismos trabajando conjuntamente.

Figura 5.3.a. Diagrama tiempo - espacio para $V = 30 \text{ km/h}$

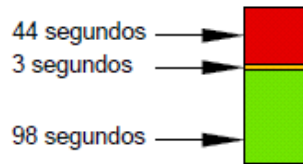


Autores: Jorge Carrasco Avendaño
Gustavo Wazhima Clavijo

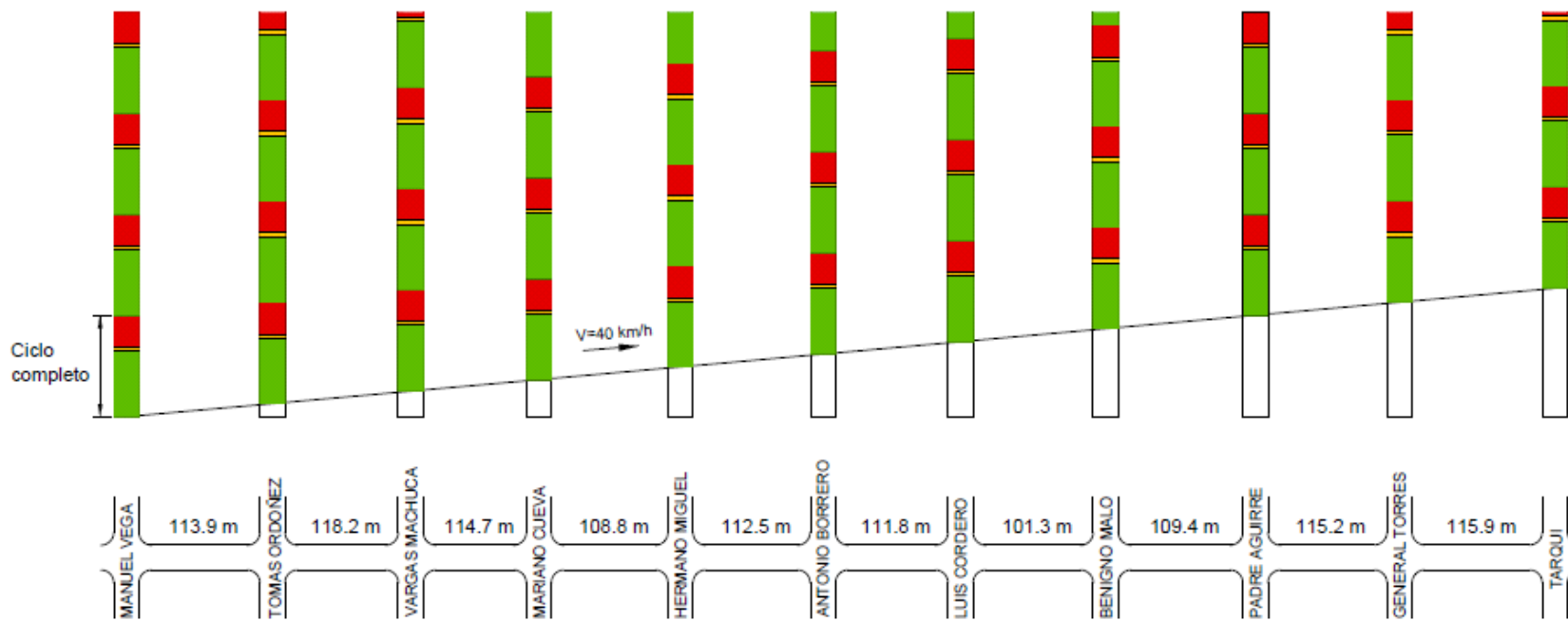
Figura 5.3.b. Diagrama tiempo - espacio

para $V = 40 \text{ km/h}$

Tiempos para todos los semáforos de la Lamar



Semáforos de la calle Mariscal Lamar

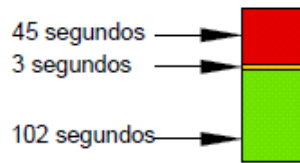


Autores: Jorge Carrasco Avendaño
 Gustavo Wazhima Clavijo

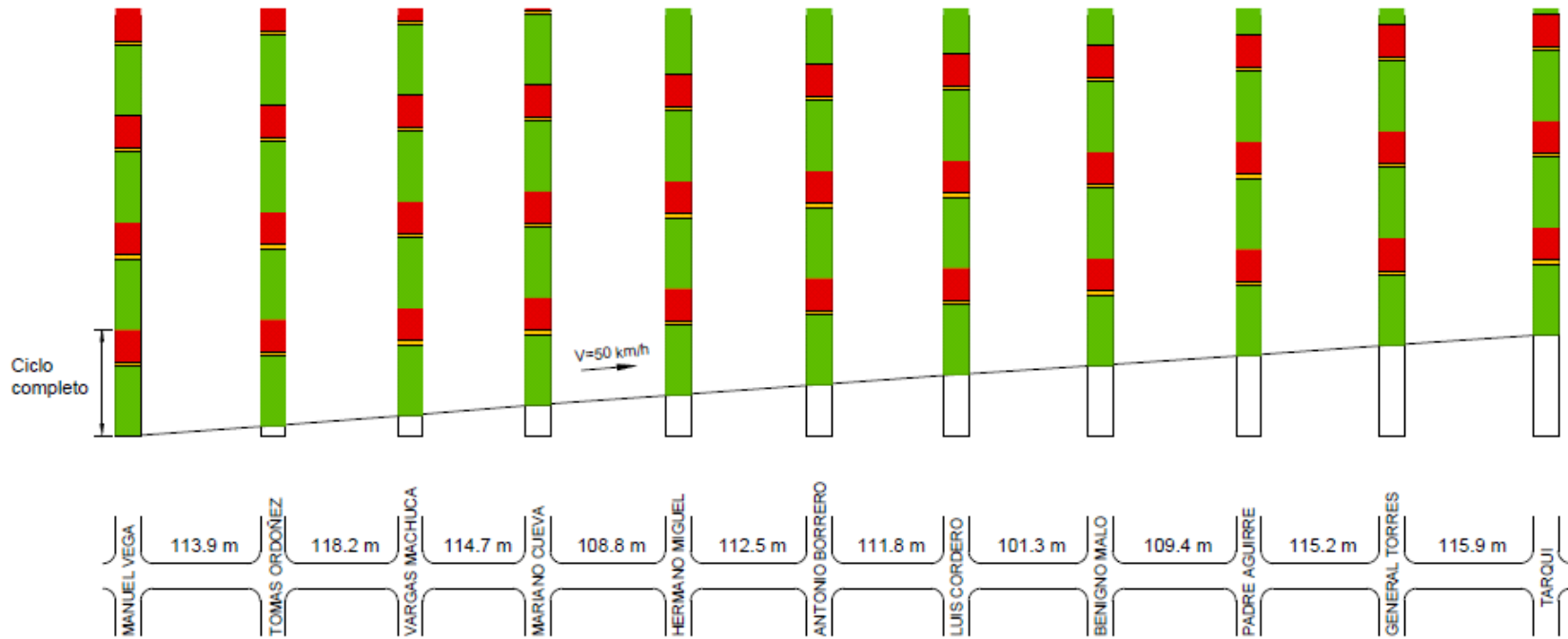
Figura 5.3.c. Diagrama tiempo - espacio

para $V = 50 \text{ km/h}$

Tiempos para todos los semáforos de la Lamar



Semáforos de la calle Mariscal Lamar



Autores: Jorge Carrasco Avendaño
 Gustavo Wazhima Clavijo

6. CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO CON LOS TEÓRICOS

6.1.1. TIEMPOS DE CICLOS.

Como se indicó, se ha diseñado los semáforos tomando en cuenta tres velocidades distintas para la circulación de los vehículos. En cada caso, se ha realizado la sincronización de los semáforos (aquellos en donde la cara del semáforo se muestra en la calle Lamar), asignándoles a todos ellos el mismo tiempo de ciclo. En la tabla 6.1 se muestra la diferencia existente entre los valores promedio de ciclos obtenidos en campo de las calles en estudio y el valor de ciclo crítico que se obtuvo del diseño para cada velocidad.

	CICLO CRÍTICO (seg)			CICLO ACTUAL (seg)	C. crítico - C. actual		
	v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h		v = 30 km/h	v = 40 km/h	v = 50 km/h
MANUEL VEGA	145	145	150	119	26	26	31
TOMAS ORDONEZ	145	145	150	115	30	30	35
VARGAS MACHUCA	145	145	150	121	24	24	29
MARIANO CUEVA	145	145	150	107	38	38	43
HERMANO MIGUEL	145	145	150	121	24	24	29
ANTONIO BORRERO	145	145	150	119	26	26	31
LUIS CORDERO	145	145	150	121	24	24	29
BENIGNO MALO	145	145	150	118	27	27	32
PADRE AGUIRRE	145	145	150	120	25	25	30
GENERAL TORRES	145	145	150	120	25	25	30
TARQUI	145	145	150	117	28	28	33

Tabla 6.1 Diferencia entre los tiempos de ciclo calculados y los obtenidos en campo.

En la tabla 6.1. se puede observar que la mayor diferencia entre los tiempos de ciclos obtenidos en campo y aquellos calculados, corresponde a la intersección con la calle Mariano Cueva, esta diferencia es de 38 segundos para las velocidades de 30km/h y 40km/h y una diferencia de 43 segundos para la velocidad máxima.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nuestro ciclo de 145 segundos comparado con el ciclo actual de 107 segundos, **es aceptable** debido a que el método utilizado de Webster y Cobbe permite una ampliación o disminución del ciclo óptimo calculado en un rango de $0.75C_0$ y $1.5C_0$ sin producir demoras, esto indica que se puede tomar un tiempo de ciclo comprendido entre 108 segundos a 216 segundos. Al obtener en el cálculo 145 segundos de tiempo de ciclo óptimo se puede redondear a 108, 110..... 180, 185, 190, 216 segundos sin que estos tiempos produzcan demoras, ya que se encontraría muy cercano al rango permitido por el método.

6.1.2. TIEMPOS INTER – VERDES

El tiempo inter verde calculado es de 4 segundos, correspondiente a 3 segundos del intervalo ámbar y 1 segundo al periodo todo rojo, este valor calculado es el utilizado en las intersecciones semaforizadas de longitudes pequeñas como es el caso de la calle Mariscal Lamar, este tiempo es muy parecido al tiempo utilizado por el software SCATS en esta vía de 3.8 segundos (2.8 de ámbar y 1 de todo rojo).

Cabe señalar que el tiempo de 4 segundos calculados para el intervalo de tiempo del interverde, es válido para velocidades de diseño de 30, 40 y 50km/h.

Este valor de 4 segundos es un intervalo de tiempo coherente para esta intersección donde las distancias entre los puntos de colisión son relativamente pequeñas comparadas con intersecciones mas grandes por ejemplo de 4 carriles, como el caso presentado en la intersección de las avenidas Don Bosco y la calle Felipe II, en donde el tiempo de 3 segundos de ámbar y 1 segundo de “todo rojo” es notoriamente muy corto para que los vehículos puedan lograr avanzar durante el intervalo de cambio de fase, es más, muchos accidentes se han dado por esta situación en donde un vehículo logra cruzar la Av. Don Bosco en dirección Este/Oeste en “verde” y en ese preciso instante empieza el intervalo de cambio de fase, al finalizar los 4 segundos, a una velocidad de 50km/h (máxima permitida) le es posible viajar solamente 56 m y la intersección tiene una longitud de 60 m, por lo cual si un vehículo proveniente de la Calle Felipe II en dirección Norte/Sur, pasa inmediatamente cuando su semáforo cambia de rojo a verde puede dar lugar a un accidente.

6.1.3. PERÍODOS “TODO ROJO”.

El tiempo de todo rojo utilizado fue 1 segundo en todas las intersecciones, este tiempo es el mismo que se utiliza actualmente en a lo largo de la calle Lamar,

Este valor de 1 segundo es el valor mínimo utilizado en el Reino Unido como en otros países del mundo, en nuestra intersección es el adecuado por lo la corta longitud de la intersección, pero para intersecciones de mayor longitud se deberá tener en cuenta el cálculo del tiempo de “todo rojo” está en función de la longitud de la intersección y obviamente de la velocidad de diseño.

6.1.4. TIEMPOS “EFECTIVOS DE VERDE”

El tiempo calculado de 137 segundos como el tiempo efectivo de verde, distribuidos en 98 en la calle Lamar y de 39 en las intersecciones, se puede analizar de la siguiente manera:

	Tiempo Asignado de Verde (seg)	Flujo saturación (veh/hora de luz verde)	Vehículos que pasan
:			
MARISCAL LAMAR	98	1648	44
MANUEL VEGA	39	2463	26
MARISCAL LAMAR	98	1668	45
TOMAS ORDONEZ	39	1947	21
MARISCAL LAMAR	98	1930	52
MARIANO CUEVA	39	2930	31
MARISCAL LAMAR	98	1858	50
LUIS CORDERO	39	1993	21

Este paso de vehículos ahora se analizara en la calle Mariscal Lamar entre Huayna Capac y Tomás Ordoñez, que es la vía de mayor longitud, para constatar que este tiempo asignado sea lo suficiente para abastecer toda la cola de vehículos.

Si tomamos el valor del flujo máximo permitido en condiciones ideales 1648 vehículos/hora durante un lapso de 98 segundos logra evacuar alrededor de 44 vehículos, la calle Lamar tiene una longitud de 96 metros y una longitud de vehículo promedio de 6m y una separación entre vehículos de 2m, se tiene una cola de 24 vehículos, es decir logra evacuar el 100% de la cola de vehículos en condiciones ideales.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Este lapso de tiempo es suficiente para lograr evacuar la cola de vehículos, si tomamos el valor mínimo permitido sin producir demoras de $0.75C_0$ (73 seg), tendríamos una evacuación de 33 vehículos, es decir se evacua también el 100% de vehículos, como se ilustra en la figura 6.1.

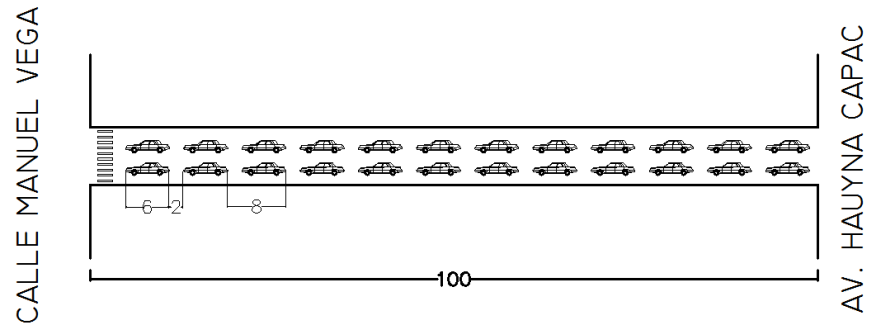


Figura 6.1. *Máximo número de vehículos que pueden ubicarse entre las intersecciones de la calle Lamar con las vías que se muestran.*

7. CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber aplicado la metodología de Webster y Cobbe para el diseño de los tiempos de los semáforos, se analizaron los datos y se presentó una síntesis de los mismos en el capítulo 6, luego de lo cual podemos obtener las conclusiones mostradas a continuación.

7.1. ALTERNATIVAS PARA DAR UN FLUJO DE VEHÍCULOS ÓPTIMO.

Como se demostró en el cálculo, el tiempo de ciclo necesario para una correcta circulación de los vehículos es, en muchos de los casos, menor que aquel obtenido en campo. Esto nos quiere decir, si se presentaran las condiciones teóricas óptimas en la calle Mariscal Lamar, esto es que no haya ningún obstáculo al paso de los vehículos y que el flujo de los mismos sea continuo, los tiempos que se han obtenido en campo deberían ser suficientes para satisfacer la demanda de tráfico. Pero como se puede observar en la tabla 7.1, los flujos actuales presentados en las intersecciones de mayor demanda son mucho menores que los flujos de saturación calculados para las mismas.

	Qtotale ADE/h	Flujo de saturación (VLE/h)
MARISCAL LAMAR	1012	1648
MANUEL VEGA	638	2463
MARISCAL LAMAR	1050	1668
TOMAS ORDONEZ	492	1947
MARISCAL LAMAR	922	1930
MARIANO CUEVA	532	2930
MARISCAL LAMAR	927	1858
LUIS CORDERO	527	1993

Tabla 7.1. Flujos actuales y de saturación en las vías de estudio.

Se concluye que algunos de los factores más influyentes para que el flujo actual sea mucho menor que el flujo de saturación, pueden ser:

- El comportamiento de los conductores, ya que muchas de las veces éstos infringen la reglamentación parqueando sus



UNIVERSIDAD DE CUENCA

vehículos en lugares inadecuados, o bien circulan a velocidades inapropiadas, lo cual puede representar una congestión del tráfico que circula atrás de estos

- La sincronización de los semáforos no está realizada específicamente para la calle Mariscal Lamar, sino que tienen influencia los semáforos de las calles aledañas, los cuales tienen que abastecer el tráfico presentado en las mismas.

Teóricamente, el tiempo más desfavorable corresponde a la calle Lamar en la intersección con la calle Tomás Ordoñez.

Ahora bien, el flujo de saturación teórico para la calle Lamar es de 1668 veh/h pero en muchos de los casos, los conductores infringen la ley municipal y estacionan sus vehículos en lugares inadecuados, lo cual afecta de manera significativa el flujo ya que reduce la capacidad de la vía a la mitad. Además debemos tener en cuenta que cada dos cuadras existe una parada de buses, por lo cual la capacidad de la vía se ve limitada durante el tiempo de subida y bajada de los pasajeros. Por lo tanto se recomiendan las siguientes alternativas para optimizar el uso de la vía.

Recomendaciones

- Reducir el número de paradas de buses ubicándolas en lugares específicos donde se presente menor congestión vehicular, como es el caso de las intersecciones con las calles Vargas Machuca, Antonio Borrero y Padre Aguirre.
- Contar con la presencia de agentes de tránsito en cada cuadra los cuales se encarguen de verificar que los conductores no parqueen sus vehículos en la vía mediante una sanción económica.
- Prohibición de subida y bajada de pasajeros para los taxis y vehículos particulares, sobre todo en la zona del mercado Nueve de Octubre ya que muchas veces los pasajeros tienden a cargar todas sus compras a los vehículos, lo cual hace que éstas paradas necesiten de más tiempo.
- Establecer una velocidad mínima de circulación de 20 km/h con el fin de evitar una congestión vehicular causada por bajas velocidades innecesarias.