



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**“DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA PARA LA TEMPORIZACIÓN DE SEMÁFOROS EN LA CIUDAD DE IBARRA”**

PLAN DE TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ.

**AUTORES:**

ENRÍQUEZ ALDÁS DAVID ALEXANDER

REALPE CHAMORRO EDISON RICARDO

**DIRECTOR:**

ING. FREDY ROSERO MSC

IBARRA, 2018



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040134102-9 y 040159385-0		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	ENRÍQUEZ ALDÁS DAVID ALEXANDER – REALPE CHAMORRO EDISON RICARDO		
<b>DIRECCIÓN:</b>	TULCÁN-CIUDELA SAN CARLOS-CALLE ANGELICA MARTINEZ		
<b>EMAIL:</b>	david.enriquez.7@hotmail.com - errealpec@.utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062236107	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0993404255 0982620282

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA PARA LA TEMPORIZACIÓN DE SEMÁFOROS EN LA CIUDAD DE IBARRA”
<b>AUTOR:</b>	ENRÍQUEZ ALDÁS DAVID ALEXANDER – REALPE CHAMORRO EDISON RICARDO
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2018/01/12
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	ING. FREDY ROSERO MSC.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, **DAVID ALEXANDER ENRÍQUEZ ALDÁS** y **EDISON RICARDO REALPE CHAMORRO**, con cédula de identidad Nro. **0401341029** y **0401593850**, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS.

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de Enero del 2018.

### AUTORES:

Firma: .....

Nombre: David Alexander Enriquez Aldás

Cédula: 040134102-9

Firma: .....

Nombre: Edison Ricardo Realpe Chamorro

Cédula: 040159385-0



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO

### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, **DAVID ALEXANDER ENRÍQUEZ ALDÁS** y **EDISON RICARDO REALPE CHAMORRO**, con cédula de identidad Nro. **0401341029** y **0401593850**, manifestamos la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "**DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA PARA LA TEMPORIZACIÓN DE SEMÁFOROS EN LA CIUDAD DE IBARRA**", que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 12 días del mes de Enero del 2018.

Firma: *David Alexander Enriquez Aldás*

Nombre: David Alexander Enriquez Aldás

Cédula: 040134102-9

Firma: *Edison Ricardo Realpe Chamorro*

Nombre: Edison Ricardo Realpe Chamorro

Cédula: 040159385-0

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por los señores: David Alexander Enríquez Aldás y Edison Ricardo Realpe Chamorro, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



---

Ing. Fredy Rosero Msc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, quien me dio la vida, salud y sabiduría para cumplir con éxito esta meta propuesta durante toda la carrera.

A la Universidad Técnica del Norte, por haberme brindado todas las herramientas necesarias en el transcurso de esta carrera.

A mi familia e hija, por brindarme en todo momento su apoyo y cariño incondicional, para permitirme alcanzar todas mis metas y anhelos.

Al Msc. Fredy Rosero. Director del Proyecto, quien con sus conocimientos adquiridos me guio para realizar con éxito el trabajo de grado.

David Enríquez A.

Agradezco a Dios por sus bendiciones, por guiarme a ser una buena persona, darme la sabiduría y salud para poder llegar a concluir este objetivo.

A la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas que supo transmitirme sus conocimientos en todos mis años de estudio.

A mis respetables maestros por los conocimientos compartidos, en especial a mi director de Tesis MSc. Freddy Alexander Rosero Obando por la orientación y ayuda para poder realizar mi trabajo de titulación.

Edison Realpe Ch.

## DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres y a mi hija, por haberme apoyado en todo momento y ser los pilares fundamentales en mi vida, por ser mi apoyo incondicional durante el transcurso de toda mi carrera estudiantil, que gracias a su amor, su tiempo, sus consejos y en especial sus motivaciones constantes me han permitido ser la persona que soy y poder finalizar esta carrera.

A mi abuelita, mis hermanos y sobrinos, por brindarme todo su apoyo y compañía en mis momentos de alegría y tristeza, por estar ahí cuando más los he necesitado, ofreciéndome siempre su apoyo moral y espiritual sin ningún interés, aportándome enseñanzas a lo largo de mi vida.

David Enríquez A.

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis queridos padres, por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida en especial en el transcurso de mi carrera, que gracias a su sacrificio y también innumerables esfuerzos me han ayudado a concluir mis objetivos y logros.

A mis hermanos, por haberme brindado esos momentos de alegría inolvidables, por acompañarme en momentos de tristeza y por el apoyo que me han dado. A mí querida esposa por la comprensión brindada y exigencia asimismo con su familia, a su dedicación en el hogar y compañerismo conmigo ayudándome cada día a ser una mejor persona.

A mis amados hijos que desde su llegada a mi vida se han convertido en mi más sincera inspiración y por quienes día a día voy a esforzarme para poder ofrecerles un mejor futuro, brindándoles un buen ejemplo como solo lo hace un buen padre y desde hoy profesional que respetara sus opiniones y principios.

Edison Realpe Ch.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA:.....	i
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	iii
3. CONSTANCIAS.....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO .....	iv
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	iv
CERTIFICACIÓN .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvi
ANEXOS .....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
CAPITULO I.....	1
1. CONCEPTUALIZACION DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Delimitación temporal y espacial.....	2
1.5 Objetivos.....	2
1.5.1 Objetivo General.....	2
1.5.2 Objetivos Específicos.....	3
1.6 Justificación.....	3



1.7	Metodología de la investigación.....	4
1.7.1	Tipo de investigación. ....	4
1.7.2	Métodos. ....	5
2.	MARCO TEÓRICO .....	6
2.1	La Congestión vehicular .....	6
2.1.1	El problema .....	7
2.1.2	Planificación de transporte y gestión de tráfico.....	8
2.1.3	Definición, principios y acciones de gestión de tránsito.....	10
2.2	Consumo de combustible por efecto del tráfico.....	12
2.2.1	Estado del arte de la cuestión.....	14
2.2.2	Eficiencia energética en el motor .....	15
2.2.3	Las resistencias al avance del vehículo .....	16
2.2.4	Características generales .....	17
2.2.5	Otros factores. ....	17
2.2.6	Realización del arranque del motor.....	18
2.2.7	Las marchas largas.....	18
2.2.8	Conducción en caravana. ....	19
2.2.9	Paradas realizadas durante la marcha.....	19
2.3	La jerarquización vial y su rol. ....	20
2.3.1	Principios de la jerarquización vial. ....	20
2.3.2	La jerarquización vial y capacidad ambiental.....	22
2.4	Medición de variables de tráfico. ....	24
2.4.1	Flujo de vehículos. ....	24
2.4.2	Métodos de medición. ....	25
2.4.3	Método manual de conteo.....	25
2.4.4	Método automático de conteo.....	27
2.4.5	Flujos Peatonales.....	27

2.4.6 Capacidad vial. ....	28
2.4.7 Longitud de colas. ....	30
2.5 Regulación y diseño de intersecciones. ....	32
2.5.1 Alternativas de regulación. ....	33
2.5.2 Canalización de movimientos. ....	38
2.5.3 Diseño geométrico de intersecciones. ....	40
2.6 Programación de semáforos. ....	42
2.6.1 Tipos de semáforos y sus etapas. ....	44
2.6.2 Criterios de instalación. ....	45
2.6.3 Programación de semáforos. ....	48
2.6.4 Cálculo de los tiempos de semaforización. ....	51
CAPITULO III .....	58
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	58
3.1 Medición de flujo vehicular. ....	58
3.2 Análisis de la geometría de la intersección. ....	60
3.2.1 Señalización horizontal y vertical. ....	61
3.3 Formas de regulación. ....	62
3.4 Determinación de movimientos. ....	63
3.5 Temporización del semáforo. ....	65
3.5.1 Toma de datos dentro de la intersección en conflicto. ....	65
3.5.2 Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados. ....	67
3.5.3 Vehículos directos equivalentes. ....	69
3.5.4 Tiempos de amarillo y todo rojo. ....	70
3.5.5 Tiempos totales perdidos. ....	72
3.5.6 Máximas relaciones de flujo. ....	72
3.5.7 Ciclo óptimo de la intersección. ....	72
3.5.8 Tiempo del verde efectivo total en la intersección. ....	73

3.5.9 Tiempos en verde para cada fase de la intersección.....	73
3.6 Niveles de servicio.....	74
3.7 Consumo de combustible.....	75
3.7.1 Cálculo del consumo de combustible en ralentí para intersecciones semaforizadas.....	76
3.7.2 Cálculo de emisiones de CO <sub>2</sub> en ralentí para intersecciones semaforizadas.....	77
CAPITULO IV.....	78
4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
4.1 Análisis de movimientos.....	78
4.2 Análisis tiempos de ciclo.....	79
4.3 Análisis de colas.....	84
4.4 Análisis de los niveles de servicio dentro de la intersección.....	86
4.4.1 Acceso Norte-Sur.....	86
4.4.2 Acceso Norte-Este.....	86
4.4.3 Acceso Oeste-Este.....	87
4.4.4 Acceso Oeste-Norte.....	87
4.5 Análisis del consumo de combustible y emisiones.....	88
4.5.1 Análisis del consumo de combustible promedio en la intersección..	88
4.5.2 Análisis de las emisiones de CO <sub>2</sub> promedio de la intersección.....	91
4.5.3 Análisis de las emisiones de CO, NO <sub>x</sub> y PM <sub>10</sub> en ralentí para los diferentes tipos de vehículos en la intersección.....	92
CAPÍTULO V.....	95
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1 Conclusiones.....	95
5.2 Recomendaciones.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 2-1:</b> Intersecciones de Ibarra con y sin semáforos.....	6
<b>Figura 2-2:</b> Congestión vehicular en la ciudad de Ibarra .....	7
<b>Figura 2-3:</b> Planificación de transporte.....	9
<b>Figura 2-4:</b> Esquema integrado de gestión de tránsito.....	11
<b>Figura 2-5:</b> Diagrama de bloques.....	11
<b>Figura 2-6:</b> Consumo en función de la velocidad. ....	13
<b>Figura 2-7:</b> Pérdidas de energía desde el combustible hasta las ruedas.....	16
<b>Figura 2-8:</b> Consumo de combustible por el Aire Acondicionado.....	18
<b>Figura 2-9:</b> Consumo de Combustible en Marchas Largas. ....	19
<b>Figura 2-10:</b> Jerarquización vial y áreas ambientales .....	24
<b>Figura 2-11:</b> Formulario medición manual de flujos vehiculares .....	26
<b>Figura 2-12:</b> Formulario medición manual de flujos vehiculares .....	28
<b>Figura 2-13:</b> Formulario para medición del flujo de saturación.....	29
<b>Figura 2-14:</b> Formulario para medición de la longitud de cola en un cruce de prioridad. ....	31
<b>Figura 2-15:</b> Formulario para medición de máxima longitud de cola y cola excedente.....	32
<b>Figura 2-16:</b> Conflictos en intersecciones. ....	33
<b>Figura 2-17:</b> Selección de la forma de regulación. ....	34
<b>Figura 2-18:</b> Triángulo mínimo de visibilidad.....	36
<b>Figura 2-19:</b> Redondel tradicional y un mini redondel.....	37
<b>Figura 2-20:</b> Ejemplos de canalización antes de una intersección.....	39
<b>Figura 2-21:</b> Distancia de visibilidad de parada y sus componentes. ....	41
<b>Figura 2-22:</b> Patente de semáforo Garrett Morgan .....	43
<b>Figura 2-23:</b> definiciones para la programación de semáforos.....	44
<b>Figura 2-24:</b> Definición de movimientos según casos particulares.....	48
<b>Figura 2-25:</b> Movimientos en una intersección.....	49
<b>Figura 2-26:</b> Diseño de fases para la intersección. ....	50
<b>Figura 2-27:</b> Conjunto de movimientos traslapados en el diseño de fases. ....	50
<b>Figura 3-1:</b> Diagrama de bloques.....	58

<b>Figura 3-2:</b> Intersección Av. Jaime Rivadeneira y Av. Mariano Acosta. ....	59
<b>Figura 3-3:</b> Foto medición ancho de la calzada.....	60
<b>Figura 3-4:</b> Señalización horizontal de la intersección. ....	61
<b>Figura 3-5:</b> Señales verticales de la intersección. ....	62
<b>Figura 3-6:</b> Reparto de fases en un ciclo de 110 seg.....	64
<b>Figura 3-7:</b> Determinación de movimientos en sus respectivas fases.....	65
<b>Figura 4-1:</b> Tipos de movimientos dentro de la intersección. ....	78
<b>Figura 4-2:</b> Conteo de Vehículos en sentido Norte-Sur y Norte-Este .....	80
<b>Figura 4-3:</b> Conteo de Vehículos en sentidos Sur-Norte (1b) y Sur-Oeste (2b). .....	81
<b>Figura 4-4:</b> Conteo de Vehículos en sentido Oeste-Este y Oeste-Norte).....	82
<b>Figura 4-5:</b> Conteo de Vehículos en sentido Este-Oeste y Este-Sur.....	83
<b>Figura 4-6:</b> Número de vehículos dentro de la intersección .....	84
<b>Figura 4-7:</b> Análisis de colas con los ciclos actuales y propuestos .....	85
<b>Figura 4-8:</b> Niveles de servicio en la intersección. ....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 2-1:</b> Acciones específicas del esquema integrado de la gestión de tránsito. ....	12
<b>Tabla 2-2:</b> Resistencias al avance del vehículo.....	16
<b>Tabla 2-3:</b> Jerarquización vial básica .....	20
<b>Tabla 2-4:</b> Características de las jerarquías viales. ....	22
<b>Tabla 2-5:</b> Características operacionales de jerarquías viales para tráfico motorizado. ....	23
<b>Tabla 2-6:</b> Visibilidad sobre la vía prioritaria. ....	36
<b>Tabla 2-7:</b> Condiciones para la distancia x. ....	36
<b>Tabla 2-8:</b> Principios del diseño geométrico de intersecciones. ....	40
<b>Tabla 2-9:</b> Valores de tasas de aceleración y frenado.....	42
<b>Tabla 2-10:</b> Etapas de la programación de un semáforo.....	44
<b>Tabla 2-11:</b> Flujo vehicular mínimo que justifica un semáforo.....	47
<b>Tabla 2-12:</b> Automóviles equivalentes para vueltas hacia la izquierda ( $E_{VI}$ )....	52
<b>Tabla 2-13:</b> Automóviles equivalentes para vueltas hacia la derecha ( $E_{VC}$ ). ...	53
<b>Tabla 3-1:</b> Programación de conteos vehiculares.....	60
<b>Tabla 3-2:</b> Ciclo de 110 segundos de la intersección. ....	64
<b>Tabla 3-3:</b> Toma de datos Sentido Norte-Sur.....	65
<b>Tabla 3-4:</b> Toma de datos sentido Sur-Norte. ....	66
<b>Tabla 3-5:</b> Toma de datos Sentido Oeste-Este.....	66
<b>Tabla 3-6:</b> Toma de datos Sentido Este-Oeste.....	67
<b>Tabla 3-7:</b> Cálculo de vehículos equivalentes sentidos Norte y Sur. ....	69
<b>Tabla 3-8:</b> Cálculo de vehículos equivalentes sentidos Este y Oeste.....	70
<b>Tabla 3-9:</b> Identificación de los carriles con mayor flujo vehicular.....	72
<b>Tabla 3-10:</b> Verdes efectivos para cada fase de la intersección.....	73
<b>Tabla 3-11:</b> Tiempos semafóricos para los diferentes sentidos con ciclo de 90s. ....	74
<b>Tabla 3-12:</b> Niveles de servicio en intersecciones con semáforos. ....	75
<b>Tabla 3-13:</b> Consumo y emisiones de CO <sub>2</sub> de los tipos de vehículos en ralentí. ....	75
<b>Tabla 3-14:</b> Tabla de conversión para el consumo de combustible en ralentí. ....	76

<b>Tabla 3-15:</b> Tabla de conversión para las emisiones CO <sub>2</sub> en ralentí.....	77
<b>Tabla 3-16:</b> Factores contaminantes de emisiones inactivas en ralentí. ....	77
<b>Tabla 4-1:</b> Comparación de Ciclo Actual y Propuesto. ....	79
<b>Tabla 4-2:</b> Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentidos Norte-Sur (1a) con giro a la Izquierda Norte-Este (2a). ....	80
<b>Tabla 4-3:</b> Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentidos Sur-Norte (1b) con giro a la Izquierda Sur-Oeste (2b). ....	81
<b>Tabla 4-4:</b> Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentido Oeste-Este (3b) y Oeste-Norte (4b). ....	82
<b>Tabla 4-5:</b> Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentido Este-Oeste (3a) y Este-Sur (4a). ....	83
<b>Tabla 4-6:</b> Cola promedio de la intersección con el ciclo de 110 y 90 segundos. ....	85
<b>Tabla 4-7:</b> Nivel de Servicio Actual y Propuesto. ....	86
<b>Tabla 4-8:</b> Promedio de factores de ajuste en toda la intersección. ....	88
<b>Tabla 4-9:</b> Disminución del tiempo de espera promedio en la intersección. ....	88
<b>Tabla 4-10:</b> Número de vehículos equivalentes por factor de ajuste de cada tipo. ....	89
<b>Tabla 4-11:</b> Ahorro de combustible promedio en toda la intersección. ....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 2. 1</b> .....	51
<b>Ecuación 2. 2</b> .....	51
<b>Ecuación 2. 3</b> .....	53
<b>Ecuación 2. 4</b> .....	53
<b>Ecuación 2. 5</b> .....	54
<b>Ecuación 2. 6</b> .....	54
<b>Ecuación 2. 7</b> .....	55
<b>Ecuación 2. 8</b> .....	56
<b>Ecuación 2. 9</b> .....	56
<b>Ecuación 2. 10</b> .....	57

## ANEXOS

	pág.
<b>Anexo 1:</b> Intersecciones de la ciudad de Ibarra. ....	100
<b>Anexo 2:</b> Semáforos en la ciudad de Ibarra. ....	101
<b>Anexo 3:</b> Conteo de vehículos empresa pública de movilidad. ....	102
<b>Anexo 4:</b> Conteo de vehículos empresa pública de movilidad. ....	103
<b>Anexo 5:</b> Conteo de datos promedio ciclo de 110 segundos. ....	104
<b>Anexo 6:</b> Conteo de datos promedio con el ciclo de 90 segundos. ....	106
<b>Anexo 7:</b> Listado de cámaras semafóricas de la ciudad de Ibarra. ....	108
<b>Anexo 8:</b> Listado de estado de cruces. ....	110
<b>Anexo 9:</b> Cruces que no comunican. ....	113



## RESUMEN

Uno de los factores más influyentes en el progreso y desarrollo del centro urbano de la ciudad, es el crecimiento vehicular. La aplicación de una metodología correcta para la temporización de semáforos conlleva a la disminución del volumen de tránsito urbano y mejoras económicas y sociales en la ciudad.

El presente proyecto propone el desarrollo de una metodología para la temporización de semáforos en la ciudad de Ibarra, que se aplicará en las intersecciones con mayor volumen vehicular, exponiendo una alternativa de solución para problemas de congestión, consumo, emisiones de gases y economía vial, que ayudarán a mejorar la calidad de vida de la población.

Los datos obtenidos se realizaron con la ayuda de la Empresa Pública de Movilidad (MEP) y por medio de conteos manuales, estos se efectuaron por personal con excelente observación y percepción para determinar los diferentes tipos de movimientos existentes dentro de la intersección. Para un mejor entendimiento a continuación se presentan tablas, ejemplos y figuras dinámicas capaces de apreciar el comportamiento del flujo, volumen, consumo y emisiones de gases que se generan en las intersecciones semaforizadas.

El resultado obtenido con la propuesta es completamente satisfactorio debido que se aumentó el flujo vehicular y con ello se disminuyeron demoras, además se minimizó el volumen dentro de la intersección subiendo de nivel al tipo E y lo más importante se pudo reducir un estimado en el consumo de combustible anual en 23.681\$, el cual es un ahorro significativo en el gasto de combustible para el GAD-Ibarra y el gobierno nacional.

## **ABSTRACT**

One of the most influential aspects in the progress and urban development in the city is the vehicular increase. The application of a better methodology to upgrade the traffic lights timing to a decrease in urban traffic and economic progresses in the city.

This project suggests the development of a methodology for the traffic lights timing in the Ibarra city, these traffic lights will be at the intersections with the most traffic, this could provide a solution for traffic problems and road economy. The information obtained was with the help of the public company MEP and by manual counts. For your understanding, tables, examples and dynamic figures are presented. It shows the behavior of the flow, volume and vehicular traffic at intersected traffic signals.

The result obtained is satisfactory because it improved the traffic flow and with this slows delays in addition the traffic inside the intersection was minimized going up of level to the type E and most importantly thing, the annual fuel consumption could be reduced by 23.681\$ which it is a saving for the car gasoline for the GAD-Ibarra and the national government.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el desarrollo de una metodología para la temporización de semáforos en la ciudad de Ibarra para la optimización de tiempo de viaje, así como también la adquisición de datos a través de su desarrollo para su posterior análisis, logrando de esta manera obtener información acerca de la temporización de semáforos que permitan mejorar los problemas relacionados a la congestión vehicular y al consumo de combustible.

En la actualidad el GAD Ibarra no cuenta con un sistema que proporcione información sobre la temporización de semáforos dentro y fuera de la ciudad, lo que limita el desarrollo de proyectos de investigación que solucionen los problemas de congestión vehicular y consumo de combustible generados principalmente en las horas pico dentro de la ciudad.

La metodología se desarrolla en la Universidad Técnica del Norte, tomando como área de estudio a la ciudad de Ibarra, de la cual se obtienen los datos proporcionados por la empresa pública de movilidad (MEP) y del área de semaforización de la misma, de los cuales se realiza los respectivos conteos y análisis que ayudarán al desarrollo de la investigación, constando de cinco capítulos:

En el primer capítulo se presenta la contextualización del problema, que está formado por antecedentes, el planteamiento y formulación del problema, objetivo general y objetivos específicos, así como también delimitación temporal y espacial, además de la justificación.

En el capítulo II se aborda el marco teórico de la investigación en el que se indica conceptos utilizados en la temática, es así que se muestra las diferentes metodologías e investigaciones realizadas en otros países, que servirán como guía para el desarrollo y posterior implementación de la temporización de semáforos en la ciudad de Ibarra y en cualquier GAD del Ecuador. De igual manera se adjunta toda la información referente al consumo de combustible, la planificación del transporte y la gestión de tráfico, además se

añade información concerniente a la jerarquización vial que es muy importante para el desarrollo de la investigación, tomando en cuenta las variables que posee el tráfico, los métodos de conteo eficiente a la hora de la recolección de datos, el diseño de las intersecciones, la capacidad vial dentro de una ciudad y la longitud de colas en una vía. Para finalizar el capítulo se abordan conceptos y fórmulas para una correcta programación de semáforos que ilustraran a la temporización de los mismos.

En el capítulo III se indica la propuesta a utilizar a través de la metodología que mejor se acoge a la situación real de la ciudad de Ibarra, la cual es la de Rafael Cal y Mayor R. implementada en México, la misma que la dividimos en 7 pasos que facilitarán nuestro estudio, en donde realizaremos mediciones del flujo vehicular mediante conteos manuales, analizaremos la geometría de la vía con sus respectivas formas de regulación, determinaremos todos los movimientos posible que tiene la intersección a estudiar, para posteriormente realizar la temporización de los semáforos a través de fórmulas que son fáciles de aplicar, para diagnosticar los niveles de servicios presentes en la intersección y el consumo de combustible que se genera en la misma.

En el capítulo IV se presentan las pruebas de los análisis con la implementación de la metodología propuesta, haciendo una comparación de los datos actuales que tiene la ciudad de Ibarra con relación a los datos obtenidos con la metodología. Además en el presente capítulo todos los datos son ilustrados mediante tablas y gráficas que facilitar su interpretación, llegando a determinar que la investigación realizada es totalmente factible y viable, acogiéndose a toda intersección con alto flujo vehicular de cualquier ciudad. Así mismo se muestra el ahorro del consumo de combustible en ralentí que generan los vehículos dentro de la intersección semaforizado, reduciendo el costo monetario notablemente en beneficio del GAD Ibarra y de todo el Ecuador.

Para finalizar en el capítulo V se despliegan las conclusiones y recomendaciones que fueron producto de la metodología realizada, y en la parte final del trabajo se indica la bibliografía consultada y los anexos de gran importancia, en el que se incluyen fotos, hojas de conteos, tablas de Excel, listado de semáforos conectados y no conectados, además se incluye un pequeño manual de la temporización de semáforos para cualquier intersección que se rijan a las normas INEN del Ecuador.

## **CAPITULO I**

### **1. CONCEPTUALIZACION DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes.**

La ciudad de Ibarra es calificada como el punto de desarrollo económico, educativo y científico más grande del norte del Ecuador, tomando en cuenta la información obtenida del censo 2010 de población y vivienda, este cantón cuenta con aproximadamente 181.175 habitantes.

De estos alrededor del 70% se encuentran en la zona urbana, los cuales se dirigen a diferentes sitios de trabajo o centros educativos mediante transporte público o privado; por lo contrario, su arquitectura vial no posee grandes avenidas en especial en el centro de la ciudad, haciendo imposible la ampliación de calles o avenidas debido a la infraestructura existente por casas y edificios.

El tránsito vehicular en la zona central de la ciudad se controla por semáforos los cuales se ubican en la mayoría de las intersecciones, siendo las calles Simón Bolívar, José Olmedo, Antonio José de Sucre, Sánchez y Cifuentes, Mariano Acosta, Jaime Rivadeneira y Av. Pérez Guerrero las de mayor congestión en las horas pico.

El Departamento de Señalización y Semaforización de Imbabura (DSSI) estuvo a cargo de la señalización vial y del mantenimiento de los semáforos hasta el 19 de octubre del 2010 para posteriormente y por disposición del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) otorgar al Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra la administración de los semáforos y su señalización; el GAD-IBARRA necesita urgentemente de un sistema de control de semáforos y una metodología para la temporización de los mismos.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

El tráfico es una problemática difícil que se presenta siempre en las ciudades, por lo que ocasiona inconvenientes económicos y también ambientales. Esta problemática es un constante reto para las organizaciones públicas llevar a cabo la solución de estos acontecimientos, para resolver se busca nuevas estrategias como por ejemplo la metodología para la temporalización de semáforos por medio de un análisis que ayude a la optimización en la gestión de los procesos y elementos que controlen el tráfico dentro de la ciudad y con ello reducir el tráfico vehicular como peatonal.

El ciclo del semáforo se debe analizar en base a tres puntos indispensables, el primero que se encarga de controlar el tiempo de ciclo completo que cumpla el semáforo, es decir cuánto se demora en cambiar de una fase a otra, el segundo que se debe tomar en cuenta el porcentaje de tiempo que se autorizará a cada una de las fases del ciclo y por último el consumo de combustible presente en las intersecciones.

## **1.3 Formulación del problema.**

¿Cómo desarrollarla una metodología para la temporización de semáforos en la ciudad de Ibarra?

## **1.4 Delimitación temporal y espacial.**

Esta investigación se llevara a cabo desde Octubre del 2016 hasta Noviembre del 2017 en la Universidad Técnica del Norte.

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

1. Desarrollar una metodología para la temporización de semáforos en la ciudad de Ibarra para la optimización de tiempo de viaje.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

1. Analizar las diferentes metodologías existentes para la temporización de semáforos.
2. Levantamiento y procesamiento de datos de flujo vehicular en intersecciones de alta congestión.
3. Evaluar el desempeño de la intersección con la metodología a implementar.
4. Estimar el consumo de combustible generado en las intersecciones.
5. Desarrollar un manual para el personal encargado de los GAD municipales de la zona norte del país.

### **1.6 Justificación.**

Esta investigación trata varios aspectos que buscan explicar y conocer el tema sobre el diseño de una metodología de temporizador de un semáforo.

Según un análisis de tránsito, los sitios de mayor congestión son el ingreso sur a la ciudad (avenida Mariano Acosta) por ser el único acceso, las avenidas de ejes viales como son la Teodoro Gómez, Atahualpa, El Retorno, Antonio José de Sucre, Simón Bolívar y Sánchez Cifuentes, que se conectan con el centro histórico de la ciudad y los alrededores de los mercados Amazonas y Mayorista.

Los técnicos en tránsito encuentran otro problema en el centro histórico, pues toda la actividad comercial, educacional y laboral se concentra en esa zona.

La idea de esta investigación es realizar una metodología capaz de optimizar el tráfico de vehículos en una intersección, de manera más efectiva por medio de datos de flujo y diagramas para determinar la cantidad de vehículos que circulan por calles principales y secundarias, y hacer efectivo el movimiento vehicular obteniendo un menor consumo de combustible.



Para esta investigación se usará la teoría básica de un semáforo y su funcionamiento, determinando los tiempos programados para cada cambio de fase (verde, amarillo, rojo), y así establecer si es necesario la implementación de un semáforo o de una señal de pare preventivo en varias intersecciones o el aumento de tiempo en los semáforos.

Es por ello que es de vital importancia llevar a cabo esta investigación porque servirá para beneficiar al sector automotriz y la comunidad en general, disminuyendo congestiones en intersecciones de fácil regulación con la implementación de esta metodología de la temporización de los semáforos.

## **1.7 Metodología de la investigación.**

### **1.7.1 Tipo de investigación.**

El presente proyecto es una investigación de estudios exploratorios o formulativos y bibliográfica.

#### ***Investigación bibliográfica.***

La investigación bibliográfica está inmersa en este proyecto debido a que se recurre a documentos, artículos, manuales para conocer el correcto uso de la temporización de semáforos, así mismo se emplean libros que proporcionen información sobre las características que posee el sistema vial, además, el internet es una ayuda en temas de conceptos y definiciones sobre el proyecto.

#### ***Investigación exploratoria.***

Esta investigación es de tipo exploratoria debido a que tiene por objetivo formular un problema para viabilizar una investigación más precisa, además sirve para formular hipótesis de primer grado (describe situaciones y hechos del objeto de estudio los cuales son conocidos de forma popular, como es la congestión vehicular) y de segundo grado (establece relaciones de causa - efectos como es la temporización de los semáforos).

### **1.7.2 Métodos.**

La investigación se realizará a través de técnicas que implementarán un proceso de recolección de datos, sujetos y fuentes de información. Una vez adquiridos los datos se procederá a exteriorizar y analizar los mismos para cumplir con el objetivo general de la investigación.

- Encuestar a expertos
- Identificación de datos secundarios analizados de manera cualitativa.
- Investigación cualitativa.
- Investigación cuantitativa.

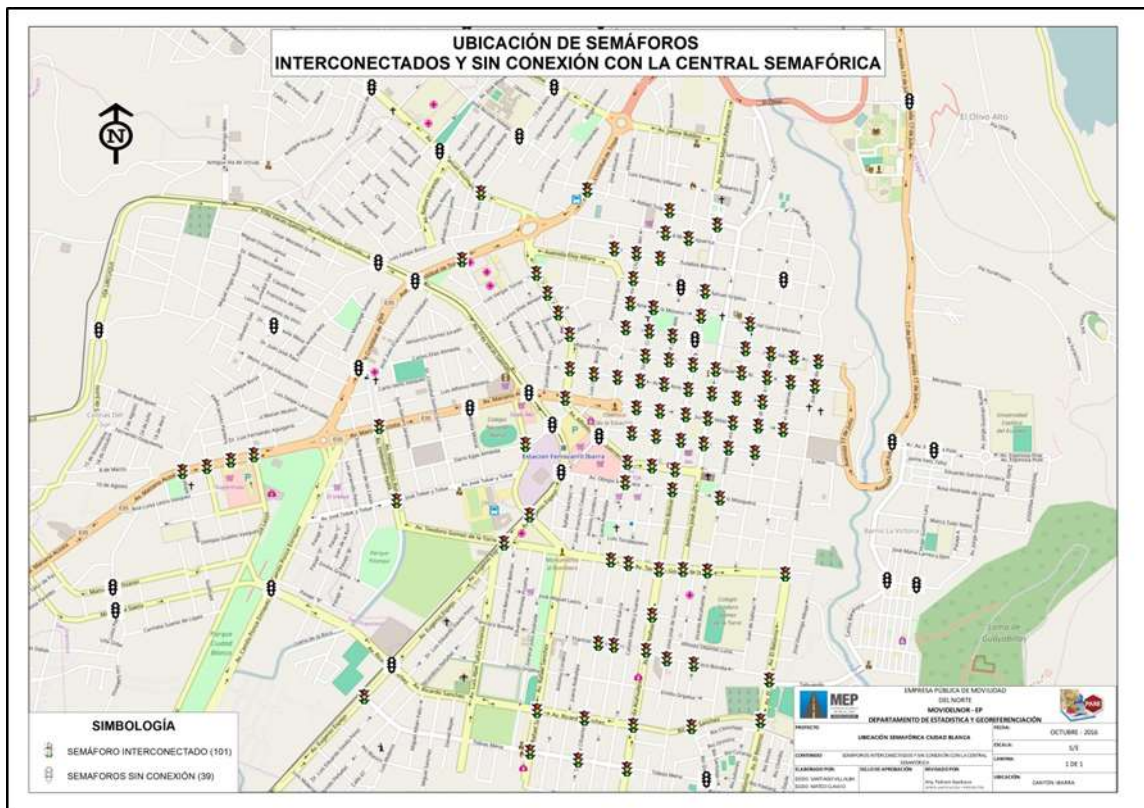
## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 La Congestión vehicular

Actualmente Ibarra posee alrededor de 142 intersecciones semaforizadas de las cuales 102 utilizan tecnología led y cámaras, que ayudan al monitoreo del flujo vehicular desde la central de control ubicada atrás del colegio Nacional Ibarra, debido que el incremento del parque automotor oscila del 8 al 11% anual, ocasionando demoras en la circulación y malestares en los peatones por la contaminación tanto ambiental y acústica.

Debido a esta problemática que acosa a nuestra ciudad es recomendable optar por medidas alternas que ayuden a controlar el conflicto vehicular, por medio de metodologías y análisis que nos permitan reducir los tiempos de espera, las emisiones de gases, producidas en las intersecciones de gran flujo vehicular.



**Figura 2-1:** Intersecciones de Ibarra con y sin semáforos

Fuente: (MEP, 2016).

### 2.1.1 El problema

Es una comprobación empírica y habitual el hecho que el tráfico en todas las ciudades denigra la calidad de la vida urbana. Esta se pronuncia, a medida que aumenta el nivel de flujo en las calles, en niveles cada vez más elevados de congestión, accidentes, contaminación, ruido, apartamiento del entorno, infracción visual y consecuencias estéticas negativas.

Los especialistas en ingeniería de transporte, son los encargados de solucionar los problemas de tráfico por medio de acciones que tiendan a mejorar el movimiento de las personas, sustentando impactos sociales, económicos y ambientales. Esta rama de la ingeniería se la conoce como ingeniería de tránsito, puesto que es usual observar que su ámbito de acción, es abordar principalmente los problemas de congestión vehicular.



**Figura 2-2:** Congestión vehicular en la ciudad de Ibarra.

El enfoque se ha plasmado en la optimización de las intersecciones y en el reajuste del diseño de ejes viales, para modificar crecientes demandas del tráfico, apreciando que la disminución de la congestión vehicular traerá consigo la reducción de los impactos negativos innatos al tráfico. Si bien este supuesto puede ser válido en algunos casos, obstaculiza las herramientas que posee la ingeniería para afrontar otros problemas urbanos y ambientales.

Sin embargo, suele tomarse como una idea generalizada para muchos sectores, la aplicación de direcciones forzadas, para mejorar el desplazamiento vehicular en zonas urbanas produciendo ventajas a largo plazo. Obligando a realizar inversiones viales, sean estas públicas o privadas, como la solución a mejorar los problemas de congestión vehicular, dejando a un lado los niveles políticos y técnicos.

Existen diversas causas por las cuales se produce la congestión vehicular como son: desarrollo urbano inorgánico, características físicas y topológicas de la red, políticas de transporte inadecuadas, aumento de la tasa de motorización y gestión de tránsito deficiente, estas acciones deben estudiarse y analizarse por separada muy profundamente, debido a las costosas soluciones de infraestructura vial que se debe aplicar a cada acción.

### **2.1.2 Planificación de transporte y gestión de tráfico.**

La vivencia mundial ha manifestado que, sin una planificación apropiada ni controles enfocados hacia un objetivo común, las ciudades enfrentarán una inevitable destrucción del ambiente físico y del bienestar social de toda su población. En efecto, la advertencia de tal destrucción debe ser considerada como el objetivo principal de la regulación del sistema urbano y, como parte primordial, el transporte.

Esta regulación debe proporcionar una adecuada coordinación de todos los medios de transporte en un área urbana en general, así mismo, el control de cómo se utilizan los medios de transporte, en función del interés de la población. En base al planteamiento de esta meta es posible especificar los objetivos generales de la planificación del transporte en áreas urbanas (AGUILERA, 2014).

- Modificar el uso del suelo, en cuanto a la intensidad y localización, minimizando los desplazamientos de las personas y facilitando el acceso de los servicios de transporte, objetivo de largo plazo.

- Participación modal, donde los sistemas de transporte deben ser utilizados alcanzando los mayores beneficios sociales, restringiendo el acceso de algunos vehículos a determinadas zonas.
- Implementar nuevos servicios, en caso que los sistemas de transporte no cumplan con las perspectivas fijadas, se conformará una red vial jerarquizada, con la creación de redes de transporte público y privado no motorizado.



**Figura 2-3:** Planificación de transporte.

Fuente: (Castañeda, 2013).

Los objetivos generales de planificación de transporte urbano citados anteriormente deben estar sometidos a la gestión de tránsito que se realice en cada zona determinada. A continuación se mencionarán los siguientes objetivos específicos de gestión de tránsito:

- Optimizar el funcionamiento de la infraestructura vial existente (vías, intersecciones, terminales).
- Asegurar una adecuada accesibilidad a las actividades urbanas por parte de todos los grupos de ciudadanos (peatones, pasajeros, automovilistas).
- Proveer un buen nivel de servicio a todos los que realizan un uso eficiente del espacio vial urbano (transporte público, bicicletas, peatones).

- Proteger el medio ambiente y a todos sus habitantes de los efectos negativos generados por el tráfico (accidentes, ruido, polución, segregación, impactos estéticos) (AGUILERA, 2014).

Mencionados estos objetivos específicos, es fácil apreciar que van más allá de la eficiencia económica o de tratar de disminuir la congestión vehicular, por su parte adoptan consideraciones sociales y ambientales. Para hacer, más factible su relación con los objetivos globales de planificación de transporte.

### **2.1.3 Definición, principios y acciones de gestión de tránsito.**

La gestión de tránsito es el planteamiento, motivación y regulación de las actividades de las unidades en movimiento sobre una red vial existente y un patrón definido de uso del suelo, de acuerdo a un tipo de comportamiento específico de la gente, con el fin de optimizar en términos de los viajes destacados el uso de la red, sujeto a restricciones ambientales, de seguridad y sociales (AGUILERA, 2014).

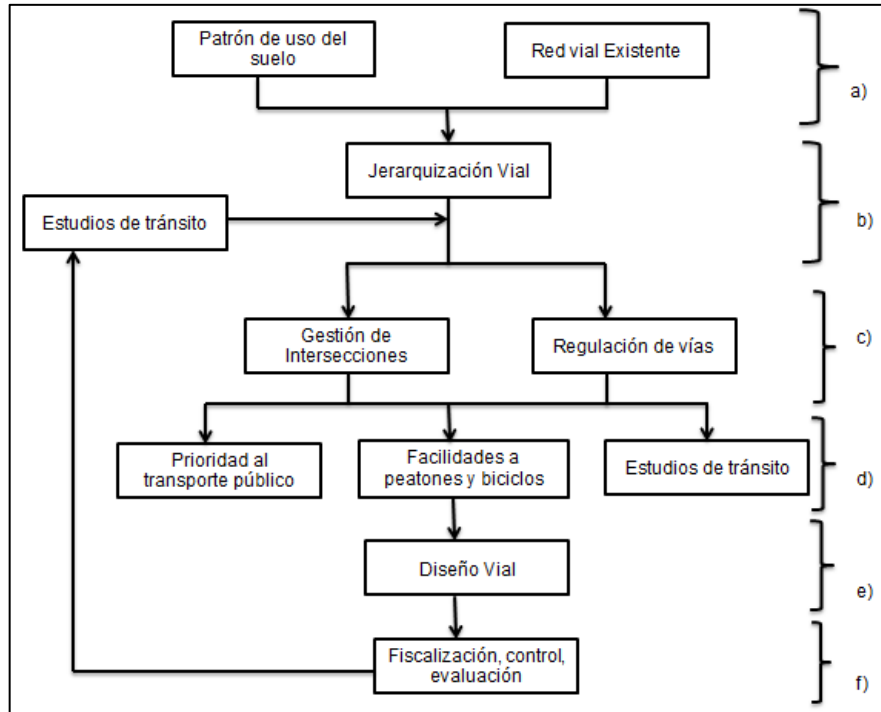
En lo mencionado anteriormente podemos analizar que existen parámetros que no pueden ser modificados por la gestión de tránsito: la topografía de la red vial, patrón de uso del suelo y el comportamiento de las personas. Por su parte el objetivo de la gestión sigue siendo el mismo: optimar el uso de la red vial en función de las rutas deseadas, existiendo siempre restricciones: sociales, ambientales y de seguridad vial.

Existen algunos principios generales que consolidan la orientación de las medidas de gestión de tránsito para su aplicación, entre ellas:

- Debe ser una actividad permanente predestinada a mejorar el desplazamiento de las personas (no solo de los vehículos) en toda el área urbana a través de medidas coherentes y coordinadas.
- Los centros de las ciudades deben tener buena accesibilidad, donde la actividad vehicular deberá adaptarse a la peatonal y el traslado masivo de personas tendrá prioridad sobre los automóviles.



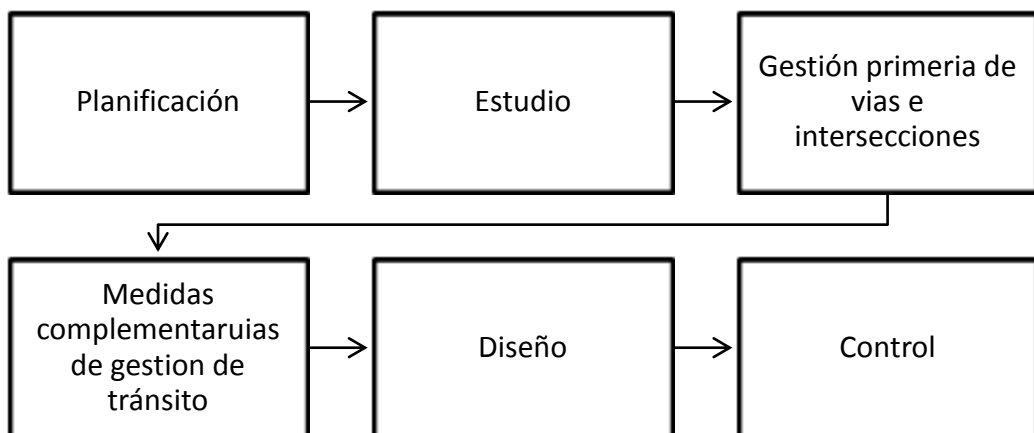
- Las zonas residenciales deben ser resguardadas y alejadas del tráfico vehicular y sus altas velocidades, con la finalidad de conservar su calidad de vida y el cuidado al ambiente.



**Figura 2-4:** Esquema integrado de gestión de tránsito.

Fuente: (Estuardo, 2012).

En la figura anterior se puede diagnosticar las siguientes etapas en la proyección de un esquema integrado de gestión de tránsito:



**Figura 2-5:** Diagrama de bloques.



La siguiente tabla muestra algunas especificaciones que comprende cada componente de la figura mostrada anteriormente.

**Tabla 2-1:** Acciones específicas del esquema integrado de la gestión de tránsito.

<b>Jerarquización vial.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de las redes viales primarias, secundarias y locales.</li> <li>Delimitación de áreas protegidas del tránsito (áreas ambientales).</li> </ul>
<b>Regulación de vías.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de sentidos de circulación.</li> <li>Restricción o prioridad de circulación por tipo de vehículo.</li> <li>Imposición de límites de velocidad, peso o tamaño.</li> <li>Prohibición o autorización de maniobras de adelantamiento, virajes o detenciones.</li> <li>Señalización reglamentaria, de advertencia e información.</li> <li>Demarcación longitudinal, transversal etc.</li> </ul>
<b>Gestión de intersecciones.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de su forma de operación.</li> <li>Determinación del tipo de regla de prioridad.</li> <li>Programación de semáforos.</li> <li>Canalización de movimientos.</li> <li>Señalización reglamentaria.</li> <li>Demarcación longitudinal, transversal, otras.</li> </ul>
<b>Facilidades a peatones y bicicletas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de áreas para peatones.</li> <li>Diseño para el cruce de vías.</li> <li>Diseño de vías para bicicletas.</li> <li>Provisión de estacionamientos.</li> </ul>
<b>Facilidades al transporte público.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prioridades en tramos de vía.</li> <li>Prioridades en intersecciones.</li> <li>Diseño de paradas de buses.</li> <li>Diseño de estacionamientos de intercambio.</li> </ul>
<b>Control de estacionamientos.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control de estacionamientos en la calzada.</li> <li>Regulación de estacionamientos fuera de la calzada.</li> <li>Provisión de estacionamientos especiales.</li> <li>Creación de estacionamientos de larga estadía.</li> <li>Diseño de estacionamientos de corta estadía.</li> </ul>
<b>Rediseños de vías e intersecciones.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apertura, cierre, cambio de uso de conexiones viales.</li> <li>Rediseño geométrico de ejes viales e intersecciones.</li> <li>Mejoramiento de pavimentos.</li> </ul>
<b>Fiscalización, control, evaluación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Información y difusión.</li> <li>Fiscalización mediante inspecciones y sanciones periódicas.</li> <li>Control técnico.</li> </ul>

Fuente: (AGUILERA, 2014).

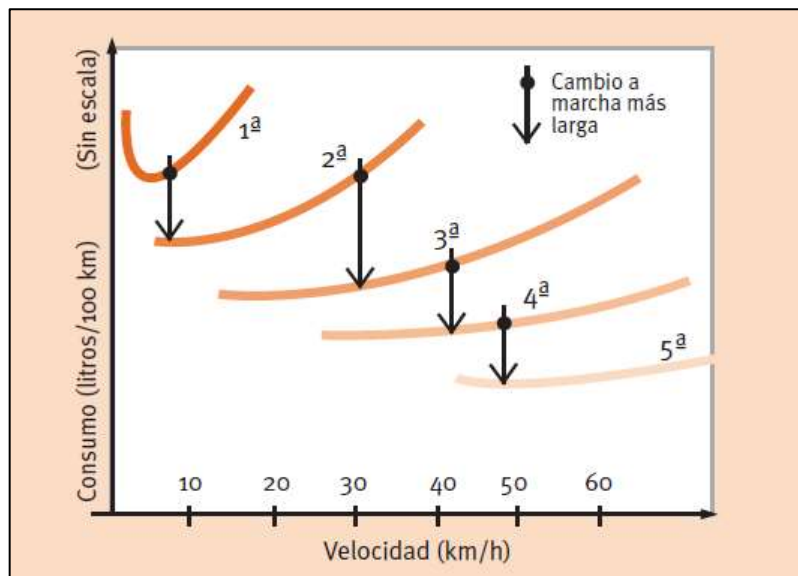
## 2.2 Consumo de combustible por efecto del tráfico.

El consumo de combustible de un motor de combustión interna ya sea a gasolina o diésel, tiene el mismo proceso ya que el carburante es enviado desde el depósito por una bomba, en la actualidad el caudal de los motores se lo regula mediante controles eléctricos tomando como datos la posición del pedal de aceleración además de las revoluciones, temperatura del agua, etc.

El consumo de combustible es mínimo cuando la velocidad es superior a 20km/h y a su vez no se encuentre pisando el pedal del acelerador en una marcha engranada.

El caudal de combustible o volumen introducido depende de la demanda de potencia generada por el motor, cuando el motor ya está caliente dicha potencia depende de dos factores: la posición del pedal de aceleración y el régimen de RPM del motor. Estos medios son impuestos por el conductor, debido a la selección de marcha por el régimen de intensidad y la posición del pedal permitiendo determinar el consumo real de combustible, este se lo calcula cada 100km en unidad de litros (IDAE, 2016).

Para la entrega de potencia y movimiento del vehículo a una determinada velocidad, existen más de dos combinaciones entre la caja y la posición del pedal que permiten reducir el consumo de combustible, una de ella es la selección de una marcha larga (5ta) que permite que el motor trabaje a menor revoluciones pero a la misma velocidad, siendo lo contrario con la selección de una marcha corta (1ra) donde el motor trabaja a mayor revoluciones y por ende el consumo de combustible aumenta.



**Figura 2-6:** Consumo en función de la velocidad.  
Fuente: (IDAE, 2016).

Por otra parte cuando el motor esta en ralentí el consumo de combustible es menor, debido que se utiliza la cantidad necesaria para hacer girar el motor y este tenga la potencia mínima para trabajar a bajas revoluciones, convirtiéndose en un consumo medio en litros /100 km, estos periodos de ralentí ocasionan un aumento del consumo medio elevado en el sector urbano con respecto al uso en carretera. Frente a esta situación el consumo de litros/100km cambia a litros/hora puesto que el vehículo no recorre ninguna distancia.

### **2.2.1 Estado del arte de la cuestión**

En áreas urbanas, las emisiones vehiculares son de gran preocupación debido a la cercanía de las actividades humanas. De acuerdo con el departamento de protección ambiental de Hong Kong, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) y las emisiones de material particulado (PM) provienen principalmente de las emisiones de los vehículos de motor tanto a gasolina como a diésel. Se indicó que las emisiones de NOx y partículas son bastante altas en las áreas urbanas y superan constantemente el objetivo de calidad del aire de la mayoría de las ciudades (Wing-Tat Hung, 2005).

Las intersecciones de tráfico son áreas designadas para que los vehículos giren en diferentes direcciones y habitualmente están sujetas a tráfico, además de políticas de control tales como semáforos y señales de alto. Los usuarios de las intersecciones con tráfico pueden estar expuestos a retrasos en la señal de tráfico, colas demasiado largas, ciclos de formación y cambios de velocidades debido a los diferentes niveles de congestión a lo largo del día durante todos los meses del año (Rita Peñabaena, 2015).

La mejora de la eficiencia del tráfico y la seguridad en las intersecciones son un problema urgente que requiere atención. Recientemente, el nuevo concepto de semáforos virtuales ha sido propuesto como una forma de resolver el problema, basándose con tecnología de comunicación de infraestructura, los semáforos virtuales involucran la presentación de la información del semáforo dentro de los vehículos, en lugar de los semáforos de tierra. La aplicación de

tecnologías de comunicación de vehículo a vehículo en intersecciones no señalizadas, se desarrolla por medio de un micro semáforo en el interior del vehículo, sistema que ayuda a los conductores de dos vías a captar controles de parada en todas las direcciones que posee la intersección (Bo Yang, 2016).

Tomando en cuenta las estrategias presentadas por la administración Sueca de carreteras, una de las mejores, la forma de reducir las emisiones en el parque automotor es mejorar la eficiencia energética del automóvil, además el desarrollo de la tecnología puede desempeñar un papel importante en la reducción del consumo de combustible en el transporte (Frances Sprei, 2008).

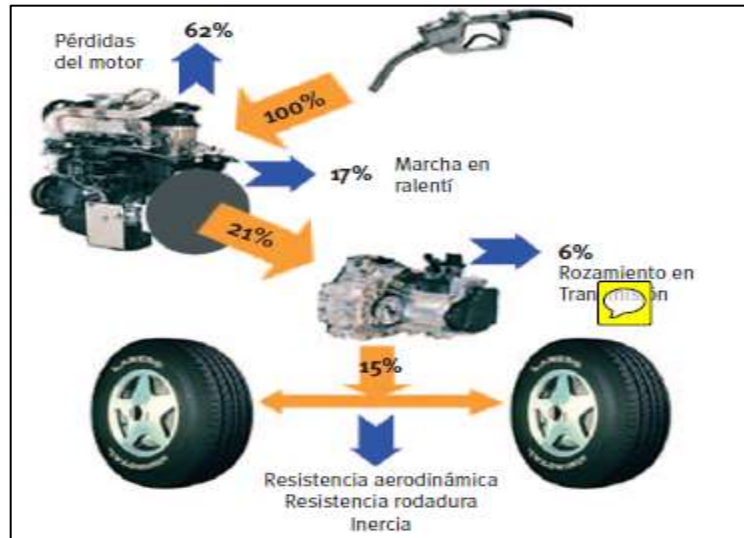
En autobuses el remplazo del diésel por hidrogeno podría hacer que aumente el consumo general de combustible y el consumo de energía del vehículo, tomando en cuenta que las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden aumentar, la sustitución de hidrógeno en los autobuses diésel podrían disminuir significativamente las emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y HC, además los valores de consumo de combustible y emisiones varían estos resultados por otros factores claves como velocidad, aceleración y el grado de la carretera (H.Christopher Frey, 2007).

Por medio de los promedios obtenidos en consumo de combustible en la ciudad de Ibarra en intersecciones semaforizadas se estima que el consumo de combustible en autobuses es alrededor del 22% del consumo total, un 8% ocasionado por paradas ocasionadas por el aborde de pasajeros y el 70% del consumo es ocasionado por el desplazamiento en la ruta la cual consta de 55 intersecciones de las cuales 43 se encuentran en el hipercentro de la ciudad y las 12 restantes en la zona periférica (Fredy A. Rosero Obando, 2017).

### **2.2.2 Eficiencia energética en el motor**

El combustible ya sea gasolina o diésel genera energía térmica mediante la combustión dentro de los cilindros del motor, transformándose en trabajo mecánico para dar movimiento a las ruedas del vehículo, aprovechando aproximadamente el 38% de la energía entregada por el combustible, la misma que puede disminuir en ciudades con numerosas paradas y arranques. Por

cada litro de gasolina, el 62% se pierde por fricción dentro del motor, en los sectores urbanos se pierde el 17% debido al ralentí por el tiempo perdido en las paradas (IDAE, 2016).



**Figura 2-7:** Pérdidas de energía desde el combustible hasta las ruedas.  
Fuente: (GmbH, 2005).

### 2.2.3 Las resistencias al avance del vehículo

La potencia proporcionada a las ruedas del vehículo es la necesaria para vencer la resistencia al avance, esta resulta al multiplicar la fuerza total de resistencia por la velocidad del vehículo. La fuerza total al avance del vehículo consta de cuatro resistencias:

- Resistencia de rodadura.
- Resistencia por pendiente.
- Resistencia por aceleración.
- Resistencia aerodinámica.

**Tabla 2-2:** Resistencias al avance del vehículo.

<b>Resistencia de Rodadura</b>	Depende del peso del vehículo, tipo de pavimento, tipo de neumáticos y lo más importante la presión de inflado.
<b>Resistencia por Pendiente</b>	Depende de la pendiente y del peso del vehículo, es positiva cuando la pendiente asciende y negativa cuando esta desciende.
<b>Resistencia por Aceleración</b>	Producto de la masa del vehículo por la aceleración (ley de Newton), se convierte en impulsadora cuando el vehículo esta desacelerado.
<b>Resistencia Aerodinámica</b>	Depende de las dimensiones y formas del vehículo, además de su temperatura, presión de aire y la velocidad a la que este circula.

Fuente: (IDAE, 2016).

#### **2.2.4 Características generales**

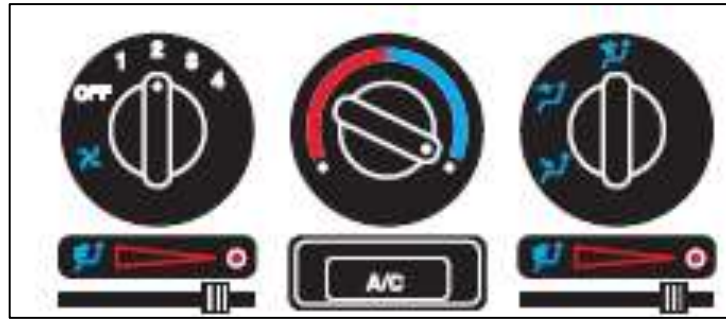
Los vehículos en la actualidad consumen cerca del 25% de combustible menos que hace 20 años, alcanzando varios modelos a utilizar menos de 5 litros cada 100km, con los avances de la tecnología el vehículo ha evolucionado a disminuir el consumo de combustible y mejorar el rendimiento. Cabe señalar que el uso erróneo de un vehículo puede terminar por completo la eficiencia lograda con los avances tecnológicos a favor del medio ambiente.

En los vehículos encontramos muchos sistemas que nos ayudan a consumir mayor o menor energía como son; los cambios automáticos disminuyen los esfuerzos al momento de conducir pero consumen más combustible que las cajas manuales, debemos tener en cuenta que los automáticas de última generación de tipo CVT por su grado de tecnología pueden consumir menor cantidad de combustible (IDAE, 2016).

El uso eficiente de vehículos actuales permite al conductor visualizar de mejor manera el consumo de combustible, y la contaminación del medio ambiente generada al momento de una conducción eficaz tomando en cuenta ciertos parámetros como son; la reducción del gasto de combustible es decir ahorro de dinero, la contaminación ambiental reduciendo las emisiones de dióxido de carbono al atmósfera para mejorar la comodidad y seguridad del conductor.

#### **2.2.5 Otros factores.**

El aire acondicionado es uno de los accesorios del vehículo que ocasiona el aumento del consumo de combustible, debido al incremento de energía que se genera en el motor al momento de su activación. Para ello es recomendable utilizar una temperatura promedio de 23 a 24 °C dentro del vehículo, se sugiere utilizar el aire acondicionado únicamente cuando se sobrepase dicha temperatura media debido a que temperaturas menores no ayudan a la comodidad de los pasajeros durante un viaje ni a la disminución del consumo de combustible (IDAE, 2016).



**Figura 2-8:** Consumo de combustible por el Aire Acondicionado.  
Fuente: (IDAE, 2016).

### **2.2.6 Realización del arranque del motor.**

Para ejecutar el arranque del motor correctamente ya sea de manera mecánica o de consumo, es recomendable arrancar el motor sin acelerar, se da contacto con el giro de la llave y rápidamente la regulación se acondiciona para un arranque eficiente. En un vehículo moderno el arranque del motor se lo realiza de manera automática por lo que no es necesario acelerar cuando se ejecuta el arranque ya que este solo desajustaría la regulación del motor y disminuiría el trabajo de arranque.

Para el arranque del motor en el inicio de marcha se lo realiza de la siguiente manera; en los vehículos a gasolina se comienza la marcha luego de arrancar el motor, y para los vehículos a diésel es recomendable esperar unos segundos antes de iniciar la marcha esto se lo realiza con el propósito que el aceite llegue a la parte de lubricación de manera correcta, sin embargo hay que tomar en cuenta si el vehículo es antiguo es posible que este posee estérter manual (IDAE, 2016).

### **2.2.7 Las marchas largas.**

En la tabla a mostrar a continuación se precisa las marchas largas mediante graficas que muestra la importancia de la conducción, esta se realiza a una velocidad constante de 60km/hora donde el consumo de combustible es menor en marchas largas dependiendo también de la cilindrada del motor del vehículo.



**Figura 2-9:** Consumo de Combustible en Marchas Largas.

Fuente: (GmbH, 2005).

Como nos indica la gráfica el ahorro de combustible entre la marcha 3ra y 4ta es de un 10%, mientras que en la 5ta marcha el ahorro de combustible que circula es de un 15% en una cilindrada menor siendo del 20% en cilindradas más altas, se puede concluir que entre más larga sea la marcha con la que circula el vehículo ha cierto número de revoluciones menor será el consumo de combustible, mientras que a mayor cilindrada el consumo de combustible en marchas largas aumentara por el tamaño del motor (IDAE, 2016).

### 2.2.8 Conducción en caravana.

Circular en una caravana (tráfico) en la actualidad es algo cotidiano y molesto para los conductores ya que todos desean manejar en marchas largas ya sea por el ahorro de tiempo o el de combustible a través de aceleraciones y frenados innecesarios, permitiendo que la circulación vehicular sea fluida. La desaceleración juega un papel importante en la representación de un frenado seguro a través la inercia, provocando un consumo mínimo de combustible.

### 2.2.9 Paradas realizadas durante la marcha.

Durante la parada de un vehículo en intersecciones semaforizadas el tiempo mínimo de espera no debe sobrepasar los 60 segundos caso contrario es recomendable apagar el vehículo, debido a que el motor en ralentí consume de 0,4 a 0,7 litros/hora. Estos valores, sin ser tan elevados muestran un consumo de combustible considerable que al ser sumados de forma acumulada en todos los tiempos de paradas aumentara representativamente (IDAE, 2016).



## 2.3 La jerarquización vial y su rol.

### 2.3.1 Principios de la jerarquización vial.

La jerarquización vial radica en asignar funciones a diferentes vías de una red. Tiene como objetivo conciliar dos funciones antepuestas que las vías cumplen: proporcionar movilidad a los vehículos y otorgar accesibilidad a los usuarios. La movilidad es la acción de poder desplazarse de un lugar a otro en el menor tiempo posible, mientras que la accesibilidad es la habilidad para lograr las actividades en las vías.

Mediante estos dos criterios las vías pueden clasificarse en tres niveles básicos, mostrados a continuación en la tabla 2-3, donde la movilidad como la accesibilidad se divide en tres niveles de orden cualitativo.

**Tabla 2-3:** Jerarquización vial básica

<b>Jerarquía</b>	<b>Movilidad</b>	<b>Accesibilidad</b>
Vía primaria	Alta	Baja
Vía secundaria	Media	Media
Vía local	Baja	Alta

Fuente: (Estuardo, 2012).

La jerarquización vial empieza con la necesidad de asignar en un solo diseño urbano una correcta movilidad de los vehículos motorizados, con las debidas precauciones para el resto del tráfico (peatones y ciclistas) y también para los que no usan el sistema de transporte (residentes, trabajadores, clientes). Está inspirada en la idea, que cualquier vehículo con trayectoria de origen-destino, debe producir las menores infracciones posibles en el transcurso que realiza su ruta.

Entre las medidas de diseño que contribuyen a una apropiada jerarquización vial se encuentra la modificación del ancho y alineamiento de calzadas, la construcción de vías peatonales y ciclovías, la provisión o eliminación de estacionamientos, la señalización, demarcación e iluminación del espacio vial, la ubicación del amoblado público y diseño del paisaje, la selección del material del pavimento, la administración de límites de velocidad y otras regulaciones de tráfico (AGUILERA, 2014).

Una excelente jerarquización vial acarrea los siguientes beneficios:

- Brindar mayor espacio a las actividades relacionadas al uso de las propiedades cercanas.
- Ofrecer rutas más eficientes y atractivas para peatones, ciclistas y transporte público, eliminando en gran parte los problemas en el tráfico.
- Las actividades inadecuadas con el flujo vehicular deben adecuarse en lugares distintos a los utilizados por los vehículos motorizados.
- Reducción de accidentes al restringir el número de conflictos entre el tráfico vehicular y el cruce de peatones.
- Aumento de la capacidad vial, limitando el acceso de peatones a vías exclusivas para el transporte público.

Disminuir los impactos ambientales procedentes de las emisiones, ruido, segregación, intrusión visual, mediante el uso de menos rutas y bajas velocidades.

Dentro de la jerarquización vial encontramos cuatro categorías viales para el tráfico motorizado; dos centrales (vías locales y secundarias) y dos externas (vías de acceso y primarias), que deben ser explicadas de acuerdo a su entorno, logrando una excelente combinación entre el diseño y la mezcla de funciones de una red vial. Así como la posibilidad de modificarla a futuro, por medio de diseños esquemáticos de gestión de tránsito que incluirán medidas de mejoramiento de tráfico y proyectos de seguridad vial de ámbito local.

En la ilustración de vías para tráfico, nos indica las características físicas y operacionales que deben asumir las categorías viales para vehículos motorizados, en las doce principales características son de carácter cuantitativo y de diseño geométrico, y las restantes son cualitativas y hace correlación con el movimiento de la vía.

**Tabla 2-4:** Características de las jerarquías viales.

FUNCIONES	Vías para tráfico NO motorizado			Vías para tráfico motorizado			
	Biciclos	Peatones	Calle peatonal	De acceso	Local	Secundaria	Primaria
Actividad Predominante	Ciclismo	Caminar, compartido con ciclismo con prioridad a peatones	Caminar, hacer vida social, comercial	Caminar acceso a la propiedad, reparto de productos	Flujo vehicular cerca de su origen o destino	Flujo de media distancia a la red primaria, rutas de transporte público	Flujo de alta velocidad y larga distancia. Ningún flujo peatonal o acceso propiedad
Acceso a las actividades adyacentes	Solo priorizando a ciclistas	Solo compartido cruzando las veredas	Nula, excepto vehículos de emergencia y servicio	Predomina	Alguno	Nula, excepto a las que generen flujos similares a vías secundarias	Nula, excepto a lugares de importancia nacional
Flujo vehicular local	Alguno, con prioridad al ciclismo	Ninguno	Ninguno, excepto transporte público especial	Ninguno	Predomina	Alguno, según distancia entre intersecciones	Muy poco, espaciamiento de intersecciones debe evitarlo
Flujo vehicular de paso	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Predominante para flujo de media distancia	Predominante para flujo de larga distancia
Velocidad Máxima	Menor a 30km/h con medidas de reducción de velocidad	Menor a 10km/h excepto uso compartido con ciclistas	Menor a 10km/h con dificultades para vehículos	Menor a 30km/h con medidas de reducción de velocidad	Hasta 50 o 65km/h trazando que desincentiv e la velocidad	Hasta 50 o 65 km/h dentro del área urbana	Mayor a 65km/h según diseño geométrico

Fuente: (AGUILERA, 2014).

En conclusión, la tabla nos ayuda a identificar las vías existentes en función de su categoría, y también a guiar al servicio de tránsito para la selección de la categoría que se necesita para una vía adecuada, es por este motivo que indicamos que la jerarquización vial es el punto de partida para la gestión de tránsito y diseño vial urbano.

### 2.3.2 La jerarquización vial y capacidad ambiental.

El propósito de la jerarquización vial es clasificar las diferentes vías para un mejor control de las actividades del tráfico, como se ilustra en la siguiente tabla, donde las vías primarias elaboradas para largas distancias y mayor velocidad, se relacionan con las vías secundarias por medio de intersecciones a desnivel, que regulariza los flujos hacia el interior de las comunidades, conectando las vías locales por medio de intersecciones controladas por semáforos.

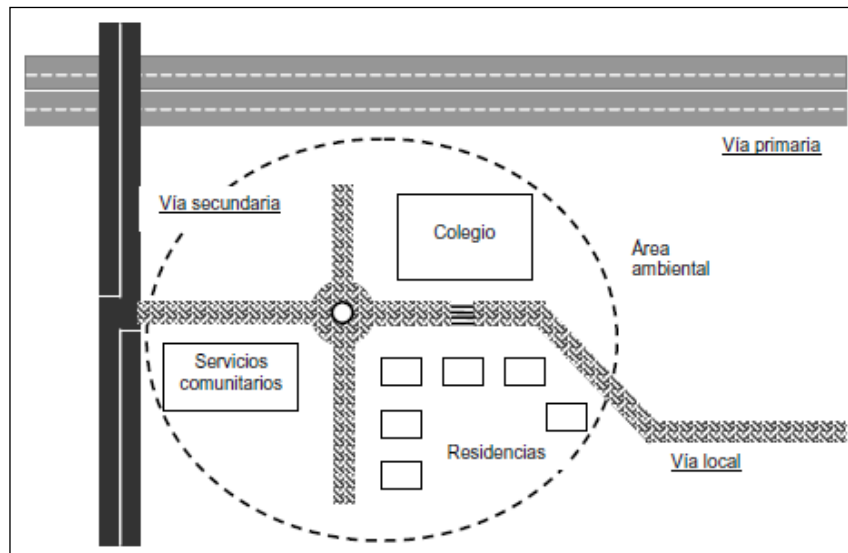
Generando así, el comienzo de la vialidad local y de acceso al interior de los comunidades. La misma que se caracteriza por tener un diseño poco atractivo que hace disminuir la velocidad, producido por la textura del pavimento, mini redondeles, malos trazados horizontales, cruces peatonales, calles con poca iluminación.

**Tabla 2-5:** Características operacionales de jerarquías viales para tráfico motorizado.

Características	Vías de Acceso	Vía local	Vía secundaria	Vía primaria
Número de Pistas	1-2	2	≥2	4
Velocidad de diseño[km/h]	20 – 40	40 - 50	50 – 60	70 - 90
Visibilidad de parada [m]	20 – 40	40 - 50	60 – 75	90 - 130
Volumen de diseño [veh/día]	-	6.000	15.000	40.000
Anchos de pistas [m]	2,5 – 3,2	3,2	3,2 – 3,5	3,5
Anchos de bermas [m]	0,25	0,5	1,0	1,5
Anchos de mediana [m]	No hay	1,2	1,6	Calles separadas
Radio Curva horizontal [m]	50	130	180	600
Parámetro curva vertical	200	800	1.100	2.500
Pendiente en recta [%]	10	8	7	6
Pendiente en cruces [%]	6	5	5	4
Distancia entre cruces [m]	-	100	200	500
Control de la accesibilidad	Nulo	parcial	Parcial	total
Regulación del estacionamiento	Permitido	excepcional	prohibido	prohibido
Tránsito peatonal	Mixto	En veredas	semaforizado	desnivel
Cruces de peatones	Irrestringido	A nivel	semaforizado	desnivel
Paraderos de buses	No hay	En calzada	En calzada	En bahía

Fuente: (FERNÁNDEZ, 2008).

Dicha estrategia permite implantar las denominadas áreas ambientales, que son, zonas urbanas donde los impactos generados por el parque automotor se mantienen a un nivel adecuado. Para estas áreas ambientales es posible definir un concepto, la capacidad ambiental de tráfico se describe como la capacidad de una calle o área que permite alojar un cierto número máximo de vehículos en movimiento o inmóviles que respete la calidad ambiental.



**Figura 2-10: Jerarquización vial y áreas ambientales**  
 Fuente: (AGUILERA, 2014).

La aplicación del concepto de capacidad ambiental basada en la segregación peatonal nos indica, que entre más estrecha es una calle, mayor será la fluidez de vehículos, manteniendo el mismo estándar ambiental. Por ende la segregación se mide tomando en cuenta la demora que genera un peatón al cruzar la calle, en promedio cada peatón tarda 4 segundos en cruzar una calle.

Por ejemplo el flujo máximo de una calle de 11 metros de ancho no deberá exceder los 225 veh/h. Sin embargo, la capacidad ambiental de una calle de 7 metros de ancho alcanzará un flujo de 500 veh/h, esto se debe a que los peatones tardan menos en cruzar una calle más estrecha, utilizando menores brechas y generando mayor flujo.

## **2.4 Medición de variables de tráfico.**

### **2.4.1 Flujo de vehículos.**

Estas mediciones se las realiza para determinar el volumen de los movimientos existentes y a la vez los tipos de vehículos que transitan en las áreas de estudio. Dicha información ayuda a diagnosticar los periodos críticos en el transcurso de un día, semana o temporada, estableciendo el dominio relativo de cada tipo de vehículo y movimiento en el funcionamiento de las zonas de estudio.

Para llevar a cabo esta medición, se debe tomar en cuenta la longitud del período que depende del tipo de conteo que se pretende realizar y el uso que se dará a toda la información recolectada, para ello existen dos tipos de conteos: continuos y periódicos. Los continuos registran la información de flujo vehicular durante el transcurso del día las 24 horas. Por otra parte en los conteos periódicos la información es recolectada en ciertos períodos críticos predestinados.

#### **2.4.2 Métodos de medición.**

Existen dos métodos viables para la obtención de conteos vehiculares: método manual y método automático.

La aplicación del método manual se recomienda cuando es necesario almacenar y registrar datos relacionados a la clasificación de los vehículos. Mientras que la aplicación del método automático se recomienda cuando se registra un patrón horario, diario o de periodos largos. La selección del método de medición más adecuado se debe determinar en función de las recomendaciones citadas anteriormente.

#### **2.4.3 Método manual de conteo.**

##### ***Dispositivos.***

Todas las aplicaciones del método manual requieren de pequeñas muestras de información dentro de la zona de estudio, para la toma de datos en extensiones horarias menores a un día de trabajo. Los períodos pueden estar entre los 5, 10 o 15 minutos, estas mediciones pueden realizarse durante las horas pico de una mañana del lunes o la hora pico de una tarde del viernes, mostrando un elevado volumen de flujo de vehículos, siendo viable los conteos realizados los días lunes, jueves, viernes y los fines de semana.

El registro en este conteo se lo puede realizar de tres formas: a través de formularios, de tableros mecánicos o de tableros electrónicos. Siendo los formularios el medio más simple de medición y recolección de datos, la información es tabulada mediante marcas en formularios diseñados para la zona de estudio (Figura 2-11), con la ayuda de un reloj o cronometro para medir el intervalo de tiempo ansiado.

**Figura 2-11:** Formulario medición manual de flujos vehiculares.  
Fuente: (AGUILERA, 2014).

Independientemente del método de medición a implementar, es necesario realizar una pequeña preparación a los integrantes del equipo, con el objetivo de identificar los períodos de medición, ajustes de los relojes o cronómetros, determinar los movimientos y tipos de vehículos y lo más importante, que la clasificación de los vehículos sea entendida por todos, descartando la posibilidad de clasificar un tipo de vehículo dentro de otra categoría.

Si el cálculo de flujo de vehículos se efectúa en un cruce semaforizado, es necesario identificar en cada fase del semáforo los movimientos de mayor y menor volumen, con el propósito de asignar a cada integrante flujos elevados en una fase y bajos en otros, dividiendo la carga de trabajo de todos los integrantes, se recomienda que cada medidor no debe tener asignado un flujo vehicular superior a los 800 a 1000 veh/h.

#### **2.4.4 Método automático de conteo.**

##### ***Dispositivos.***

Este conteo automático de flujos proporciona un medio para realizar mediciones de larga duración en la zona de estudio, normalmente de 24 horas por día, varios días. El método consiste en usar detectores superficiales así como: detectores de neumáticos, de contacto eléctrico, magnético, radar, infrarrojo e ultrasónico. Los mencionados sistemas detectan los automóviles que circulan por la zona y transfieren la información a un contador ubicado al costado de la vía.

La evolución tecnológica ha permitido desarrollar dispositivos que por medio de cámaras permiten obtener imágenes de video para su digitalización, y de esta manera contabilizar el flujo vehicular, la clasificación de los vehículos de acuerdo a su equivalencia y su velocidad. Es de vital importancia cumplir con las recomendaciones establecidas por el fabricante y la correcta instalación de los dispositivos, para evitar errores de sobre cuantificación al momento del paso de los vehículos.

La autonomía de los dispositivos se basa principalmente en función de la combinación de la capacidad de almacenamiento de la información y de la carga de las baterías, en la actualidad existen equipos con dos a cuatro años de autonomía. Cabe recalcar que existen contadores permanentes donde su ubicación es constante y requieren de conexión a energía, así como de un medio de vaciado de la información, bien sea mediante conexión física, tipo USB o inalámbrico, tipo wireless, bluetooth etc.

#### **2.4.5 Flujos Peatonales.**

Las corrientes peatonales en cruces semaforizados se diseñan tomando en cuenta que el peatón puede realizar el cruce mientras la fase del semáforo permite el viraje de los vehículos, bajo la condición que el vehículo-peatón es menor. Por otra parte, en zonas urbanas de mayor número de habitantes es frecuente observar que este principio de regulación colapsa, considerando efectuar una fase exclusiva de verde peatonal.



La velocidad promedio a la que se desplaza un peatón esta entre los 0,7 m/s y 1,5 m/s, en densidades pueden llegar a los 1,5 peatones/m<sup>2</sup>, en concordancia es recomendable que la medición de flujo peatonal se realice en intervalos de tiempo inferiores a los indicados en la medición de flujos vehiculares, siendo factible integrar por cada ciclo de semáforo o por minuto de tiempo, por lo consiguiente los flujos peatonales se expresan por minuto o por ciclo.

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora Inicio: \_\_\_\_\_ Hora Fin: \_\_\_\_\_  
 Clima: \_\_\_\_\_ Aforador: \_\_\_\_\_

Calle: \_\_\_\_\_

Giro	1 Etapa	2 Etapas
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Ciclo	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

**Figura 2-12:** Formulario medición manual de flujos vehiculares.  
 Fuente: (AGUILERA, 2014).

#### 2.4.6 Capacidad vial.

La capacidad vial no es más que el máximo flujo vehicular que el dispositivo puede analizar. Por esta razón la capacidad vial dependerá del tipo de regulación y del dispositivo analizado, no actuando como constante para la gestión del tránsito. Para evitar ese inconveniente se puntualiza el flujo de saturación como el flujo vehicular máximo que el dispositivo permite analizar, sin considerar su regulación, bajo circunstancias de saturación.


**Flujo de saturación en semáforos.**

Una vez comprobada la existencia de saturación, realizar la medición es simple y consiste en registrar todos los vehículos que alcanzan pasar la línea de detención o señal de pare, catalogándolos según su topología y según el movimiento que realizan: siguen derecho, giran a la izquierda, giran a la derecha.

La toma de datos se totalizará en intervalos de tiempo que dependerán de la duración de la fase (verde más amarillo) en el que se está determinando el flujo de saturación, siendo una regla práctica el considerar cinco o seis intervalos por fase, o bien una duración de seis segundos por intervalos (Jerez Hernandez & Morales Santos, 2015).

El siguiente formulario puede ser utilizado para estimar el flujo de saturación. En el cual se considera la fase de pista dividiéndola en cinco intervalos, donde se registran seis ciclos del semáforo (figura 2-13), para los tres movimientos existentes y además de los tres tipos de vehículos que circulan: vehículos livianos (VL), camiones (CAM) y buses (BUS).

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora Inicio: \_\_\_\_\_ Hora Fin: \_\_\_\_\_  
 Clima: \_\_\_\_\_ Aforador: \_\_\_\_\_  
 Calle: \_\_\_\_\_ Rama: \_ Norte \_ Sur \_ Este \_ Oeste Pista: \_ 1 \_ 2 \_ 3

  
 Norte

Ciclo	Int	Directo			Giro a Izquierda			Giro a Derecha		
		VL	CAM	BUS	VL	CAM	BUS	VL	CAM	BUS
1	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
2	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
3	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
4	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
5	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
6	1									
	2									
	3									
	4									
	5									

**Figura 2-13:** Formulario para medición del flujo de saturación.  
 Fuente: (AGUILERA, 2014).

## **2.4.7 Longitud de colas.**

### ***Tipos de colas.***

Existen varios tipos de colas de vehículos que pueden medirse dependiendo del fenómeno que se desea estudiar. La medición de la longitud de cola debe efectuarse por línea de detención de acuerdo al diseño de fases que la programación del semáforo considere. Esta opción consiste en asumir que existe igual saturación en todas las pistas de la línea de detención, lo que en términos prácticos significa que las colas de cada una de las pistas de la línea de detención son similares en comportamiento y magnitud (Castañeda, 2013).

Los tipos de longitud de cola dependen del tipo de regulación que la línea de pare posee. Para regulaciones de prioridad se debe medir la longitud de la cola promedio, mientras que para regulación con semáforo se debe medir la máxima longitud de la cola excedente. La longitud de cola puede anotarse tanto en unidades de distancia (m) como en unidades de vehículos (veh). Si se registra el tipo de vehículo en cola, es posible evaluar la longitud de la cola en unidades de vehículos equivalentes (veq).

### ***Longitud de cola promedio.***

En el caso de pistas reguladas por prioridad (señales), donde no existe un tiempo de ciclo adjunto a la programación de un semáforo, es útil realizar mediciones por medio de registros visuales cada cierto intervalo de tiempo establecido. Por consiguiente, se registra la longitud de la cola en cada instante de tiempo en el intervalo predestinado.

El concepto de intervalo de tiempo dependerá de la magnitud de flujo que llega a la línea de detención en todas las pistas de estudio. Para flujos menores a (250 veh/h) es apropiado estimar intervalos de 30 segundos, y para flujos superiores se insinúa intervalos de 5 a 10 segundos.

El formulario es apropiado para realizar este tipo de medición, consta de intervalo de tiempo con una duración constante y un total de 30 apuntes, con lo cual el registro se realiza en un máximo de 15 min dentro de cada período.

Fecha: _____	Hora Inicio: _____	Hora Fin: _____
Clima: _____	Aforador: _____	
Calle: _____	Rama: _ Norte _ Sur _ Este _ Oeste	Pista: _ 1 _ 2 _ 3

#	Vehículos en Cola			#	Vehículos en Cola		
	VL	CAM	BUS		VL	CAM	BUS
1				16			
2				17			
3				18			
4				19			
5				20			
6				21			
7				22			
8				23			
9				24			
10				25			
11				26			
12				27			
13				28			
14				29			
15				30			

**Figura 2-14:** Formulario para medición de la longitud de cola en un cruce de prioridad.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

***Máxima longitud de cola.***

Se aplica a intersecciones con líneas de detención reguladas por semáforo, durante el período de verde los vehículos se descargan desde el frente de la cola. Sin embargo, existirán vehículos que se unen a la cola que aún no se descarga. La máxima longitud de cola corresponde a la posición medida en número de vehículos que alcanza la cola justo al vaciarse. En términos prácticos, equivale al último vehículo que se detiene en cola (Castañeda, 2013).

Existirá una máxima longitud de cola, llegando a cero solo si dentro del período de rojo del ciclo del semáforo no se aproxima ningún vehículo a la línea de pare. El formulario de la anterior figura también es aplicable en este caso, considerando que cada observación corresponde a la fase de verde con derecho a paso, dentro del ciclo del semáforo.

### **Longitud de cola excedente.**

En los casos en que el último vehículo de la máxima longitud de la cola alcance a cruzar la línea de pare, no existirá cola excedente. Por el contrario, si el último vehículo de la máxima longitud de cola no cruza, la longitud de cola excedente corresponderá a todos los vehículos en cola detrás del vehículo que lo alcanzo a cruzar.

En función de la magnitud del flujo que llega a la línea de detención y de la programación del semáforo, existirá cola excedente en algunos ciclos y en otros no, el valor promedio, considerando los valores nulos, equivaldrá a la longitud de cola excedente.

Fecha: _____	Hora Inicio: _____	Hora Fin: _____
Clima: _____	Aforador: _____	
Calle: _____	Rama: _ Norte _ Sur _ Este _ Oeste	Pista: __ 1 __ 2 __ 3

#	Vehiculos en Cola			Cola Excedente			#	Vehiculos en Cola			Cola Excedente		
	VL	CAM	BUS	VL	CAM	BUS		VL	CAM	BUS	VL	CAM	BUS
1							1						
2							2						
3							3						
4							4						
5							5						
6							6						
7							7						
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
14							14						
15							15						

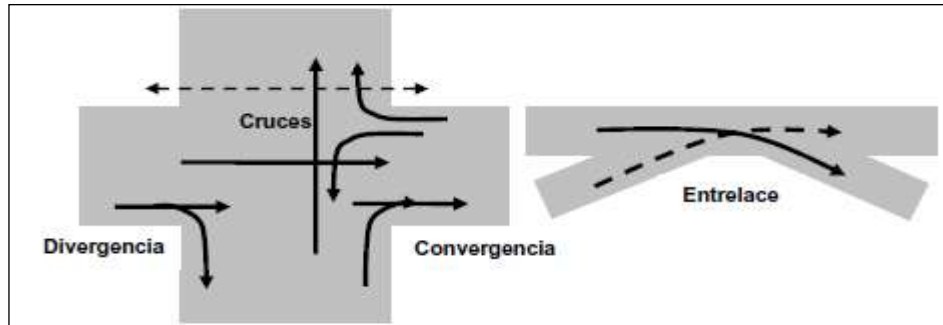
**Figura 2-15:** Formulario para medición de máxima longitud de cola y cola excedente.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

### **2.5 Regulación y diseño de intersecciones.**

Una intersección es el área común de dos vías que se cruzan y su objetivo es facilitar el movimiento de flujos de tráfico desde una vía a otra de forma eficiente y segura, dicha intersección puede ser presentada como la agrupación de movimientos conflictivos entre vehículos y peatones. Estos conflictos de movimientos que posee una intersección son de tipo direccional y se clasifican en (figura 2-16):

- Cruce.
- Convergencia.
- Divergencia.
- Entrelace.



**Figura 2-16:** Conflictos en intersecciones.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

El diseño de una intersección consiste en dar solución a los conflictos de la forma más segura posible, a la vez que proveer suficiente capacidad para minimizar demoras y costos de operación. Los conflictos en una intersección son difíciles de eliminar por completo, por ende se introduce el concepto de regulación de intersecciones. Para poder definir mediante reglas la manera en que los conflictos en una intersección se separarán en el espacio o en el tiempo, como ejemplo tenemos al semáforo (brinda paso-prohíbe el paso).

### 2.5.1 Alternativas de regulación.

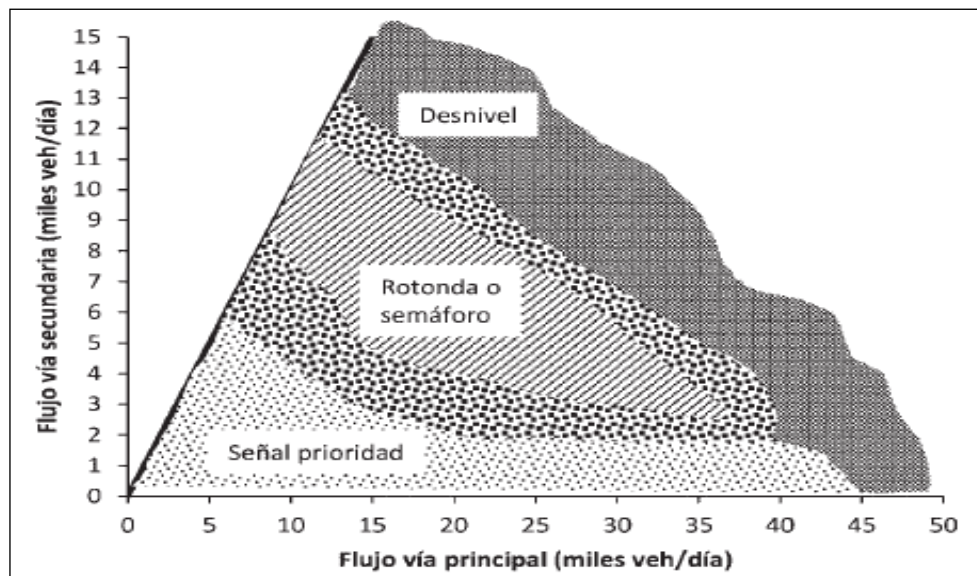
Para detallar cuál es la mejor alternativa se procede a diagnosticar el área común de la intersección y revisar las alternativas disponibles y cuáles de todas ellas es la más eficiente. Esta puede ser regulada de cuatro formas existentes:

- Regulación implícita.
- Señal de prioridad.
- Rotonda.
- Semáforo.

Para realizar la selección de regulación de la vía, se debe tomar en cuenta varios aspectos como son:

- Jerarquía de las vías que se cruzan.
- Magnitud, estructura y composición de los flujos por cada acceso.
- Visibilidad en la intersección.
- Entorno urbano de la intersección.
- Disponibilidad de espacio.

La regulación implícita se reserva cuando las calles que se cruzan son de una jerarquía menor, con flujos vehiculares reducidos, buena visibilidad y entorno residencial, mientras que en el otro caso se debe realizar una regulación de tipo explícita. La (figura 2-17), nos indica una aproximación con valores usada en los países de Europa para diagnosticar la regulación de una intersección en función del volumen de los flujos vehiculares.



**Figura 2-17:** Selección de la forma de regulación.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

Por medio de la figura es posible identificar una vía principal y otra secundaria, cuando los flujos por una vía secundaria son menores a 2000 veh/día y los de la vía principal a 40000 veh/día, se deberá usar una señal de prioridad. Para flujos intermedios en ambas vías de 10000 a 30000 en la vía principal y de 3000 a 10000 en la secundaria, se sugiere usar una rotonda o semáforos. En caso que los fluidos por la vía principal sean muy altos mayores a 45000 veh/día, independientemente de la cantidad de tráfico por la vía secundaria, se debe usar una intersección a desnivel (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

### ***Señal de prioridad.***

Se debe usar alguna señal de prioridad (pare o ceda el paso) en toda intersección de la red vial primaria o secundaria no regulada por semáforo. En la red vial local se usará señal de prioridad si la suma de flujos que llegan a la intersección es mayor a 100 veh/h o si el tránsito medio diario anual (TMDA) por la vía secundaria excede los 500 veh/día. Estos valores se reducen a 50 veh/h y 300 veh/ día en intersecciones rurales (Castañeda, 2013).

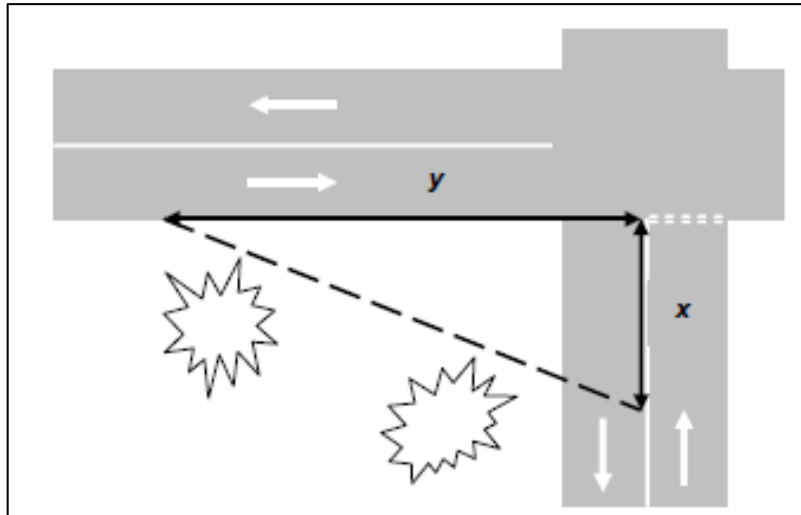
En una regulación con señal de prioridad, el tráfico por las vías que se cruzan secundarias), siempre debe dar el paso al de la otra (primarias). Es decir, hay prioridad permanente para la vía principal, esto implica que la vía prioritaria siempre tendrá mayor flujo que la secundaria, en caso que la estructura de flujos cambie a través del día se usará otra forma de regulación, como un redondel o un semáforo activo para el tráfico.

Existen dos tipos de señal de prioridad:

- Pare: detención obligada para la vía secundaria, independiente del tráfico por la vía prioritaria.
- Ceda el paso: detención condicionada para la vía secundaria a la existencia de tráfico por la vía prioritaria.

El criterio de discriminación entre ambas es un solo: la visibilidad, siempre que haya suficiente visibilidad se instalará una señal de Ceda el paso. En caso contrario, se debe tratar de mejorar la visibilidad en la intersección. Solo si esto no es posible se instalará una señal de Pare.





**Figura 2-18:** Triángulo mínimo de visibilidad.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

El triángulo de mínima visibilidad depende de la velocidad de aproximación del 85% de los vehículos primarios ( $V_{85}$ ) y ciertas condiciones de visibilidad desde la vía secundaria. Estas se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 2-6:** Visibilidad sobre la vía prioritaria.

$V_{85}$ (Km/h)	120	100	85	70	60	50	40	30
y (metros)	295	215	160	120	90	70	45	33

Fuente: (AGUILERA, 2014).

**Tabla 2-7:** Condiciones para la distancia x.

CONDICIÓN	x (metros)
Deseable	9,0
Recomendable	4,5
Excepcional	2,5
Mínimo Absoluto	2,0

Fuente: (AGUILERA, 2014).

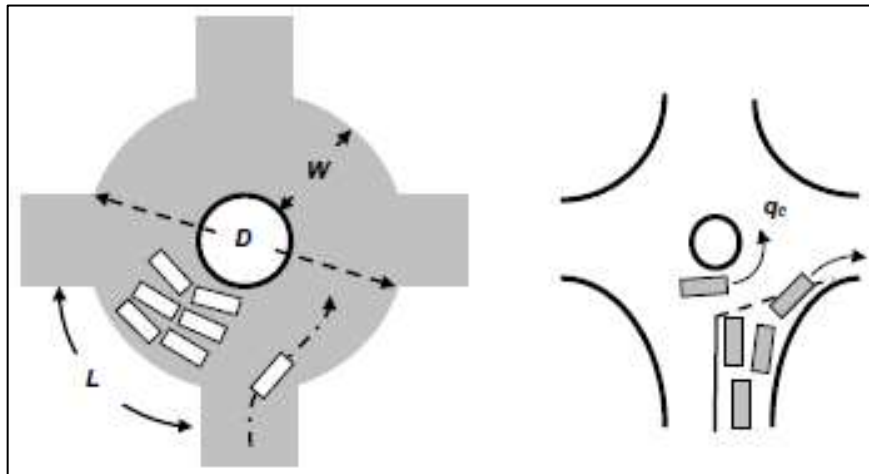
### ***Redondel o Rotonda.***

Un redondel es un tipo especial de intersección regulada con señal de prioridad en la que todos sus accesos se controlan con ceda el paso y estos empalman en un anillo circular dentro de la intersección donde los vehículos giran hasta llegar a su vía de salida. Si está correctamente diseñada, un redondel transforma todos los conflictos direccionales en enlaces, los cuales son menos agudos.

Se usa redondel como forma de regulación de intersecciones cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Cruces de 3 o más accesos.
- Magnitud de flujos similares por acceso.
- Alta proporción de virajes a la izquierda (30% o más).
- Ausencia de cruces de peatones de importancia.
- Espacio horizontal suficiente para el diseño.

La forma de dar prioridad a los movimientos en un redondel ha variado desde su creación en el año de 1920. Hasta 1966 la prioridad la tenía el flujo que entraba al redondel, forma de operación denominada prioridad al flujo entrante. Desde esa época hasta la actualidad la prioridad la tiene el flujo que circula por el anillo del redondel, operación conocida como prioridad al flujo circulante (FERNÁNDEZ, 2008).



**Figura 2-19:** Redondel tradicional y un mini redondel.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

Los redondeles operan con prioridad al flujo entrante, a este tipo de redondel se lo llama tradicional. Para dar el paso a quienes entran debe haber capacidad para almacenar vehículos en el anillo del redondel, para ello, la longitud de entrelace  $L$ , el ancho del anillo de circulación  $W$  y el diámetro del círculo inscrito en el redondel  $D$  deben ser grandes para otorgar capacidad y espacio de entrada y salida a las intersecciones.

## **Semáforo.**

El objetivo de un semáforo es minimizar los conflictos direccionales de una intersección mediante su separación en el tiempo por medio a sus demandas de tráfico, un semáforo concede prioridad variada a distintos movimientos de vehículos y peatones para que crucen la intersección con un mínimo de riesgos, demoras e inconvenientes, a través de periodos cortos llamados ciclos.

El ciclo de un semáforo es el tiempo entre los inicios del derecho de paso de un mismo movimiento ya sea vehicular o peatonal, dicho tiempo oscila entre uno y dos minutos. Para el buen funcionamiento del semáforo la clave es que se cumpla con los requisitos mínimos para su uso, determinando los movimientos que tendrán de paso simultáneo y cuánto debe durar este derecho.

### **2.5.2 Canalización de movimientos.**

La canalización tiene por objetivo general la separación espacial de los conflictos para tratarlos de forma particular. Generando beneficios en el aumento de la capacidad y la seguridad en la intersección. Entre los objetivos específicos la canalización tiene:

- Segregar flujos según su maniobra.
- Generar áreas de espera seguras en la intersección.
- Aumentar la visibilidad en intersecciones.
- Controlar ángulos y velocidades de aproximación a intersecciones.
- Impedir movimientos prohibidos.

Estas canalizaciones se pueden realizar dentro de la intersección o antes de la intersección, de cualquier manera, existen dos formas de canalización:

- Segregación física de movimientos mediante soleras, islas o medianas.
- Segregación virtual a través de señalización, demarcación, tachas o tachones.

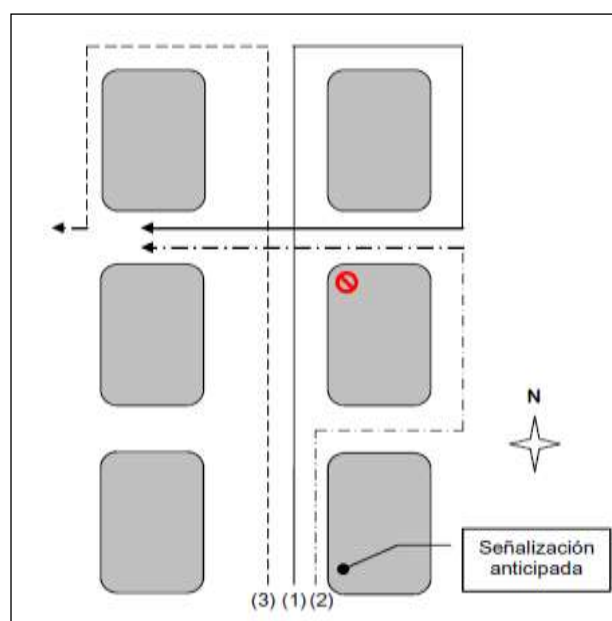
Las ventajas de la segregación física frente a la virtual es que se logra un mayor nivel de cumplimiento por parte de los conductores. Por lo contrario, la segregación virtual es más flexible y económica de implementar, cabe recalcar que la canalización es una medida de gestión de tránsito de bajo costo pero de alta efectividad, su diseño geométrico debe ser exhaustivo con el fin de brindar seguridad y respeto a todos los conductores.

### ***Canalización antes de la intersección.***

La canalización antes de la intersección trata de sacar los movimientos que serán particularmente conflictivos, por ejemplo, un giro a la izquierda. No obstante, más allá de la sola prohibición de un movimiento en la intersección, la gestión de tránsito debe ocuparse de encaminarlo por rutas alternas apropiadas.

La canalización más común es el impidiendo de giros a la izquierda, por ello se debe anticipar y desviar por calles alternas de tres formas particulares (figura 2-20) citadas a continuación:

- (1) llamada canalización en “q”, puesto que se parece a esta letra.
- (2) llamada canalización en “t”, que igual se parece a esta letra.
- (3) llamada canalización en “p”, por igual razón.



**Figura 2-20:** Ejemplos de canalización antes de una intersección.  
Fuente: (AGUILERA, 2014).

Las alternativas de canalización antes de la intersección deben contar con señalizaciones anticipadas para que los conductores adopten con anticipación la ubicación en la calzada para poder realizar la maniobra. Estas señales deben ser lo más claras posibles para que los conductores por dicha intersección la comprendan y adopten precauciones para su utilización.

### 2.5.3 Diseño geométrico de intersecciones.

El diseño de intersecciones no puede ser gobernado por criterios generales, debido a que cada zona posee un problema diferente a resolver. No obstante, con el tiempo se ha logrado contrastar algunos principios generales para guiar el diseño de las intersecciones, entre ellos encontramos.

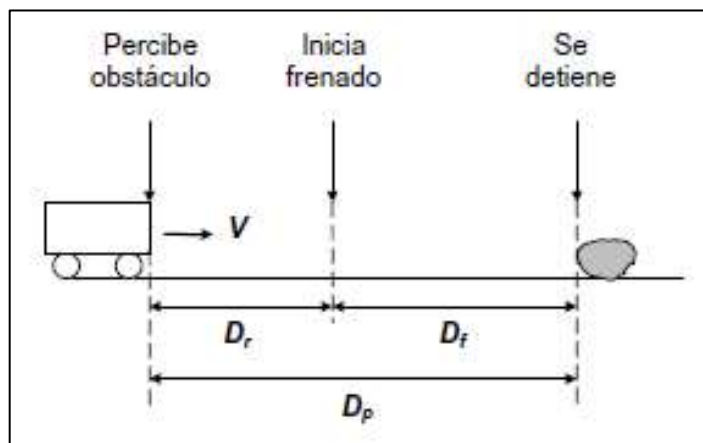
**Tabla 2-8:** Principios del diseño geométrico de intersecciones.

<b>Asegurar visibilidad.</b>	Es el principio más importante. Los vehículos que se aproximan a la intersección deben verse mutuamente, por lo que la velocidad debe limitarse en función de la visibilidad, llegando hasta la detención de ser necesario
<b>Sencillez y claridad.</b>	Es otro de los principios importantes. Diseños complicados, con múltiples islas y canalizaciones, no son convenientes. El diseño debe ser limpio, inteligente y estándar para el usuario no habitual.
<b>Preferencia a movimientos principales.</b>	Aunque suene obvio, los movimientos principales deben tener preferencia sobre los secundarios, siendo a veces necesario trasladar movimientos conflictivos de poca importancia a otra intersección.
<b>Reducción de áreas de conflicto.</b>	Grandes superficies pavimentadas incitan a vehículos y a peatones a movimientos desordenados con el consiguiente aumento del riesgo, por lo que deben reducirse.
<b>Perpendicularidad de trayectorias que se cruzan.</b>	Las intersecciones en el Angulo recto son las que proporcionan menos zonas de conflicto y mayor seguridad. En general, son aceptables intersecciones en ángulos que van desde los 60° a los 120°.
<b>Paralelismo de trayectorias que divergen.</b>	El tráfico que ingresa y egresa desde una vía debe hacerlo con un ángulo de incidencia pequeño para aumentar la fluidez y seguridad de la maniobra; se recomiendan ángulos comprendidos en los 10° a 15°.
<b>Separación de puntos de conflicto.</b>	Mediante una canalización adecuada pueden separarse puntos de conflicto de modo que los usuarios no requieran atender a varios de estos a la vez.
<b>Creación de zonas protegidas.</b>	Se pueden crear islas para que tanto conductores como peatones puedan esperar hacer alguna maniobra en la intersección sin el riesgo de ser pasados a llevar por otros vehículos.
<b>Control de la velocidad de aproximación.</b>	Usando canalización puede controlarse la velocidad de los vehículos que llegan a una intersección, mediante curvas de radio apropiado o angostamientos de calzadas.
<b>Control de puntos de giro.</b>	Para evitar virajes en puntos no convenientes se puede aplicar canalización física que los hagan prácticamente imposibles.
<b>Separación de movimientos.</b>	Cuando el flujo de algún movimiento sea considerable, es conveniente darle una pista o vía exclusiva.
<b>Previsión.</b>	Antes de autorizar construcciones o instalaciones definitivas en los márgenes de la intersección, se deben prever cambios en el diseño y canalizaciones que esta podría requerir en el futuro.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

### ***Distancia de visibilidad de parada.***

La visibilidad es la variable primordial en el diseño de intersecciones, este principio general se basa al diseño geométrico, en donde un vehículo que circula a gran velocidad debe ser capaz de detenerse al visualizar un obstáculo en su trayecto. A esto se conoce como la distancia de visibilidad de parada ( $D_p$ ) y se deduce de condiciones cinemáticas y dinámicas mediante componentes que se presentarán en la siguiente figura.



**Figura 2-21:** Distancia de visibilidad de parada y sus componentes.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

Se puede apreciar, un vehículo circulando a una velocidad de diseño  $V$  por una vía con cierta pendiente se detiene en una distancia  $D_p$ , la que se compone de un tramo que transcurre desde que el conductor percibe el obstáculo hasta que inicia el frenado ( $D_r$ ), más otro que pasa mientras el vehículo se detiene ( $D_f$ ). A la primera componente se le denomina distancia de percepción-reacción, y a la segunda se la denomina distancia de frenado.

A continuación se presentan valores típicos de aceleración y frenado para varios tipos de vehículos y condiciones en unidades de aceleración de gravedad ( $g$ ). si consideramos que  $g = 10\text{m/s}^2$ , se pueden calcular tasas de aceleración y frenado en esas mismas unidades, multiplicando los valores de la siguiente tabla por 10. En programación de semáforos se asume una tasa de frenado de  $3\text{ m/s}^2$ , es decir un promedio de la tasa de frenado normal.

**Tabla 2-9:** Valores de tasas de aceleración y frenado.

Tipo de vehículo	Aceleración (g)	Frenado (g)	
		Normal	Enérgico
Automóvil			
• Sedan chico	0,15		
• Sedan Grande	0,20		
• Deportivo	0,40	0,20 – 0,50	0,50 – 0,80
Bus (comodidad)	0,15-0,20	0,20	0,60
Tren (comodidad)	0,13	0,13	0,18

Fuente: (AGUILERA, 2014).

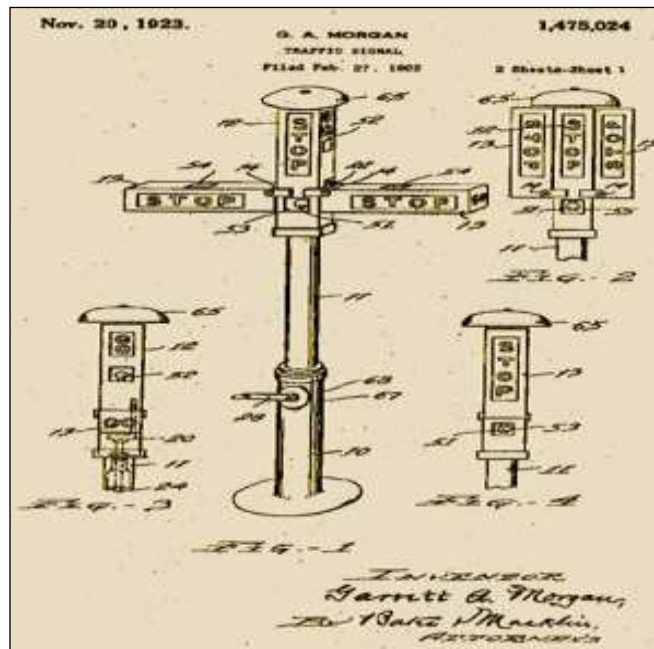
## 2.6 Programación de semáforos.

Los semáforos son herramientas o dispositivos de trabajo que su función principal es la de controlar el paso tanto de vehículos como de peatones dentro de una intersección, evitando riesgos, problemas al pasar y disminución de tiempo a un destino.

En el año de 1868 se instaló el primer semáforo en Londres el cual fue diseñado por el ingeniero John Peake, basándose en las señales ferroviarias de esa época, este constaba de dos brazos manuales que se levantaban para indicar cuando el peatón debía detenerse, para el uso nocturno se utilizaba lámparas de gas de colores rojo y verde, controlado todo el tiempo por un policía. Este invento no duro mucho tiempo ya que al cabo de un mes exploto causando la muerte del policía quien lo manipulaba (Estuardo, 2012).

A comienzos del siglo XX el caos absoluto en las calles de Cleveland Ohio inspiro a Garrett Morgan a diseñar unas de las primeras salvaguardias con mayor éxito en el mundo, y el 20 de noviembre de 1923 obtuvo una patente por el primer semáforo de ese país, este semáforo se operaba mecánicamente con brazos móviles que indicaban cuando detenerse, continuar o tener precaución.

Al darse cuenta de este gran invento y percatarse que podría ser un gran negocio la General Electric compró la patente de Morgan por un precio de 40000\$ dólares, esta compañía lo mejoró instalando un sistema de luces y siguiendo una normativa que pronto se convertiría en mundial, rojo para detenerse, amarillo señal de precaución y verde para continuar, con tiempo los semáforos fueron automatizándose y pronto se difundieron en todo el mundo.



**Figura 2-22:** Patente de semáforo Garrett Morgan.

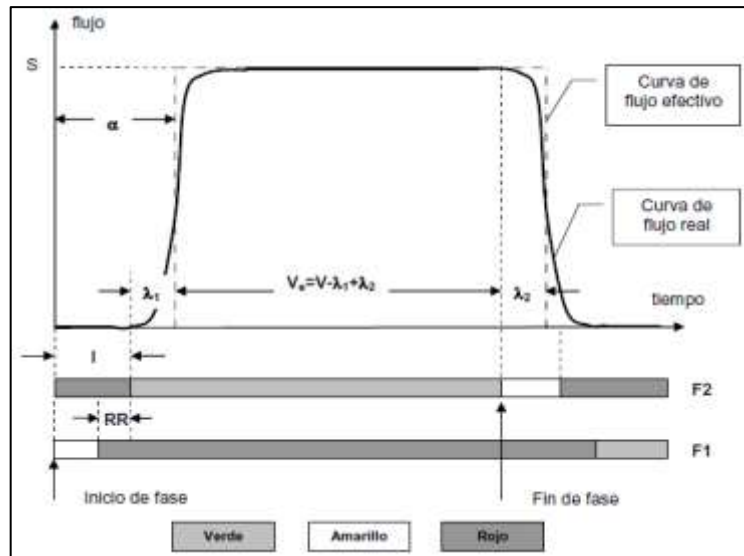
Fuente: (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

Para entender los conceptos de la programación de los semáforos es necesario recordar el comportamiento del flujo durante el tiempo de verde, como se indicará en la figura 2-23. La cual nos mostrará en su parte inferior el estado del semáforo mediante rectángulos con distintos valores explicados a continuación.

La figura muestra la descarga de una cola saturada, es decir, que dura durante todo el tiempo de verde  $V$ . los valores  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son la pérdida inicial del verde y la ganancia final o del amarillo, respectivamente, que coincide con lo que se denomina retardo final;  $\alpha$  es el retardo inicial. Por último,  $v_e$  es el verde efectivo y  $S$  es el flujo de saturación o tasa máxima de descarga durante el la fase en verde (FERNÁNDEZ, 2008).

La fase 1 (F1) del semáforo es la que da verde al conjunto de movimientos que están en conflicto cuyo comportamiento se gráfica. La fase 2 (F2), por su parte, es la que da el paso al movimiento analizado. Como se indica en la figura, F2 se inicia con el verde de la fase F1 y termina con el verde de la fase en cuestión. Existirá un entreverde (I), entre el instante de inicio de la fase en cuestión y el comienzo del verde de la misma fase. Además de un todo rojo (RR) el cuál es un margen de seguridad, para que los vehículos salgan de la intersección.





**Figura 2-23:** Definiciones para la programación de semáforos.  
Fuente: (AGUILERA, 2014).

### 2.6.1 Tipos de semáforos y sus etapas.

Los semáforos se pueden clasificar desde dos puntos de vista diferentes: según la duración del ciclo y los tiempos de verde, estos a su vez se clasifican en: semáforos de tiempo fijo o semáforos activados por el tráfico, y según su conectividad espacial en: semáforos aislados o semáforos en red. Independiente del tipo de semáforo, toda programación debe cumplir con las siguientes etapas.

**Tabla 2-10:** Etapas de la programación de un semáforo.

<b>Diseño de fases.</b>	Consiste en determinar cuál conjunto de movimientos no conflictivos entre sí pueden tener derecho de paso (luz verde) simultáneamente. Para ello es necesario: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar movimientos.</li> <li>• Determinar número y secuencia de fases.</li> </ul>
<b>Cálculo de entreverdes.</b>	El entreverde es el lapso seguro entre una fase que termina y otra que comienza. En esta etapa se debe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcular tiempos de amarillo y todo rojo.</li> <li>• Calcular tiempos desaprovechados.</li> <li>• Calcular verdes mínimas.</li> </ul>
<b>Determinación del tiempo de ciclo.</b>	El ciclo es la duración de la secuencia completa de fases. En esta etapa se calcula ese tiempo, para lo cual es necesario: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los movimientos que requieren mayor tiempo de verde o movimientos críticos.</li> <li>• Calcular los tiempos de ciclo mínimo, óptimo y práctico.</li> </ul>
<b>Cálculo de repartos.</b>	Se llama reparto al tiempo de verde que tendrá cada fase, es decir, cómo se repartirá el tiempo de ciclo en las diferentes fases. Esto requiere: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcular tiempos de verde para cada movimiento.</li> <li>• Calcular indicadores de rendimiento.</li> </ul>
<b>Determinación de desfases.</b>	Se aplica a semáforos en red, es decir, entre el comienzo de la fase verde de un semáforo y el comienzo de la verde en el semáforo siguiente. Requieren: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar un ciclo común para la red.</li> <li>• Calcular los desfases con los semáforos adyacentes.</li> </ul>

Fuente: (Fernandez & rogiguez, 2013).

Para la programación y coordinación de semáforos aislados o en redes existen herramientas computacionales que han probado su efectividad. Estas abordan el problema desde un enfoque de programación matemática, con distintas funciones. Entre las herramientas para la programación de semáforos que se pueden citar y sus correspondientes funciones objetivos se encuentran las siguientes (Castañeda, 2013).

***Semáforos aislados:***

- SIDRA: Minimiza un índice de rendimiento de toda la intersección.
- OSCADY: Verifica si la intersección tiene suficiente capacidad y minimiza la demanda total en la intersección.

***Semáforos en red:***

- TRANSYT: Minimiza un índice de rendimiento de toda la red de semáforos para tiempos fijos, es decir, considerando que los flujos no cambian en un periodo.
- SCOOT: Hace lo mismo que TRANSYT para flujos medidos en línea en la red.

**2.6.2 Criterios de instalación.**

Con la instalación de un semáforo en una intersección se espera que este disminuya las demoras de los usuarios, reduzca el consumo de combustible y emisiones de los vehículos, además prevenga ciertos tipos de accidentes, que ocurren en el cruce de trayectorias. Mientras que los costos por la instalación de un semáforo son:

- La inversión e instalación de los equipos.
- El mantenimiento de los equipos.
- La canalización y marcación de los movimientos requerido por un semáforo.

Para resolver si conviene instalar un semáforo en una intersección es necesario que los beneficios superen a los costos. Una forma de saberlo es hacer un estudio del cruce, tomando datos de flujo vehicular y peatonal, programando el semáforo y calculando los índices de rendimiento de la intersección con y sin el dispositivo. Existen parámetros que brindan síntomas si una intersección se presta para la instalación de un semáforo, se los conoce como criterios de instalación o de justificación de semáforos.

A continuación se muestran los requisitos estándar, donde siempre es necesario identificar una calle principal y otra secundaria para su aplicación:

### ***Flujo vehicular mínimo.***

Se justifica un semáforo si en las ocho horas de máxima demanda de un día ordinario transitan por la intersección:

- De 500 a 600 veh/h en ambos sentidos por la calle principal.
- De 150 a 200 veh/h en un sentido por la calle secundaria.

### ***Interrupción de tráfico.***

Se maneja este criterio para permitir que los vehículos de una calle secundaria puedan cruzar el tráfico de una calle principal. Para ello el semáforo debe ser intervenido por el tráfico, durante las ocho horas de máxima demanda de un día ordinario los requisitos son:

- De 750 a 900 veh/h en ambos sentidos por la calle principal.
- De 75 a 100 veh/h en un sentido por la calle secundaria.

### ***Flujo peatonal mínimo.***

Se usa para permitir el cruce de peatones, por lo que el semáforo debe ser intervenido por estos, se justifica un semáforo si en las horas de máxima demanda se identifica:

- Por lo menos 150 pea/h por el cruce de mayor uso.
- Por lo menos 600 veh/h en ambos sentidos si no hay refugio central.
- Por lo menos 1000 veh/h en ambos sentidos si hay un refugio central.

### ***Circulación progresiva.***

Se utiliza en calles en que los semáforos están muy distantes para mantener a los vehículos agrupados, mediante la entregar de una onda verde. Para agrupar a los vehículos se puede instalar un semáforo intermedio, siempre y cuando la separación resultante sea mayor a 300m.

### ***Accidentes.***

Se instalará un semáforo intervenido por el tráfico debido a accidentes en caso de:

- Otras medidas no han logrado reducir los accidentes.
- Han ocurrido cinco o más accidentes con heridos en el último año.
- Si el flujo y la interrupción de tráfico cumplen en un 80%.
- El semáforo no desorganiza la circulación progresiva.

### ***Combinación de requisitos.***

Finalmente, se podrá instalar un semáforo si ninguno de los requisitos se satisface en un 100%, pero dos o más lo hacen en un 80%. Además, los flujos de los requisitos de interrupción de tráfico y flujo peatonal se pueden rebajar al 70% si la velocidad de la calle principal es mayor a 60 km/h. En tal caso, pueden aplicarse individualmente (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

**Tabla 2-11:** Flujo vehicular mínimo que justifica un semáforo.

Número de pistas		Flujo calle principal (veh/h) (total en ambos sentidos)		Flujo calle secundaria (veh/h) (un sentido)	
Principal	Secundaria	Urbano	Rural	Urbano	Rural
1	1	500	350	150	105
2 o más	1	600	420	150	105
2 o más	2 o más	600	420	200	140
1	2 o más	500	350	200	140

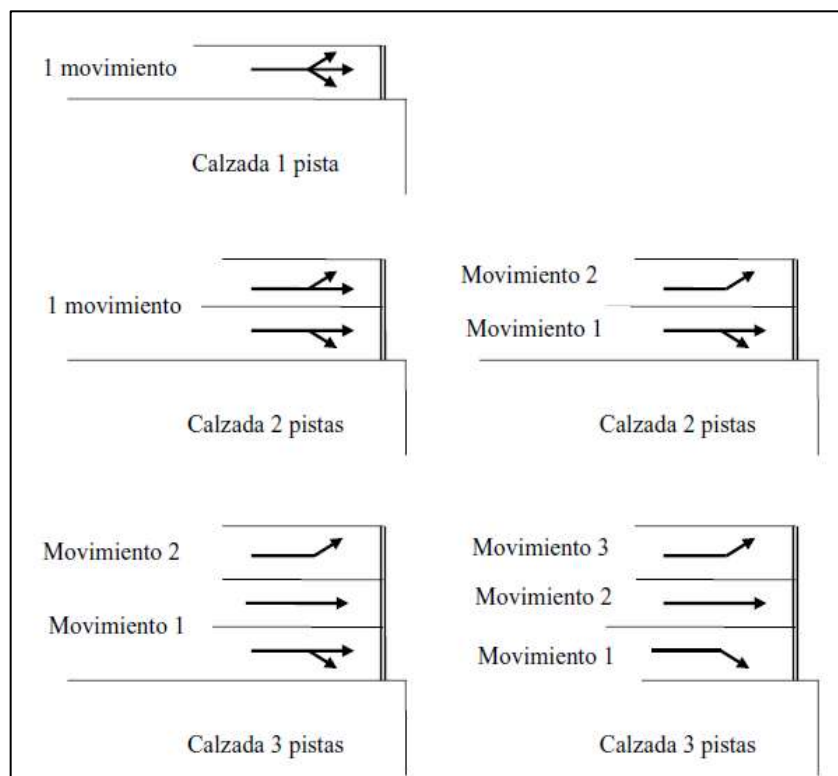
Fuente: (Manual, 2000).

### 2.6.3 Programación de semáforos.

En la programación de semáforos es necesario definir, en primer lugar lo que se denomina movimiento. El cuál es un flujo al que se le puede asignar verde separadamente, como ejemplos:

- Una maniobra exclusiva que use una o más pistas (giro a la izquierda).
- Varias maniobras que hagan cola compartida en una o más pistas.
- Cruces de peatones de gran intensidad.

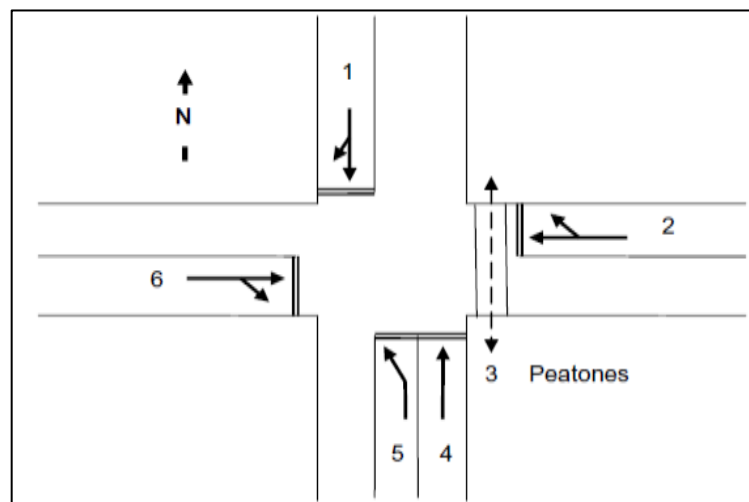
A continuación se presentan varios ejemplos de la definición de los movimientos en calzadas de una, dos y tres pistas, donde las flechas indican las maniobras que se hacen desde cada pista. En el caso de una pista hay un solo movimiento, independiente de las maniobras. Para dos pistas se puede definir uno o dos movimientos y para más de dos pistas las combinaciones se multiplican (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).



**Figura 2-24:** Definición de movimientos según casos particulares.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

Existen dos enfoques para determinar el número y secuencia de fases. Uno es el enfoque tradicional, en que cada fase se asocia a un movimiento específico y se trata de minimizar el número de fases. Por ejemplo, si se da verde a un giro a la izquierda, todo el resto de movimientos de la intersección están en rojo. El otro es el enfoque contemporáneo, que permite movimientos traslapados, es decir, movimientos que pueden tener verde en más de una fase, se busca maximizar el número de traslapos (Castañeda, 2013).

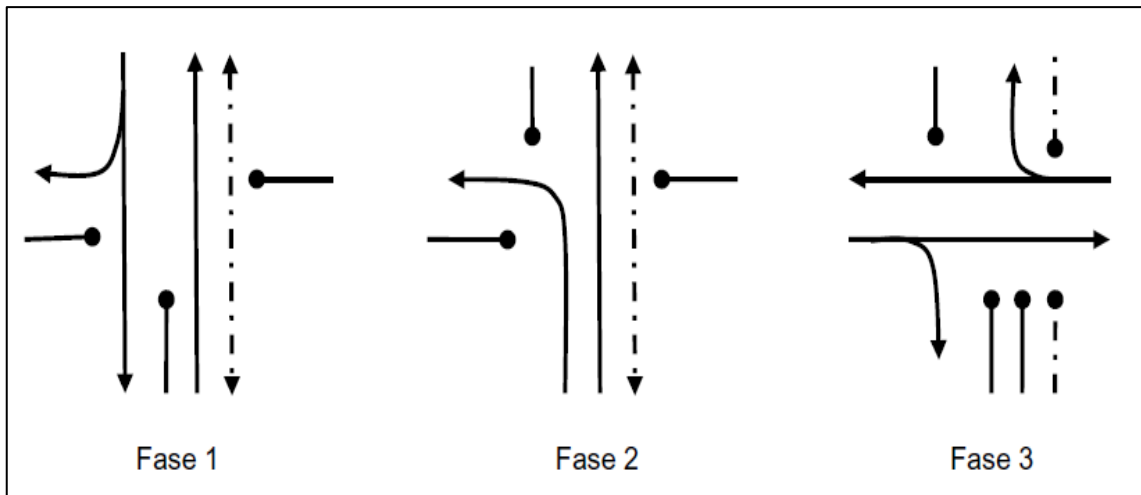


**Figura 2-25:** Movimientos en una intersección.

Fuente: (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

Por medio de la identificación de movimientos, se ha determinado el siguiente diseño de fases, en que las flechas muestran los movimientos que tienen derecho al paso en esa fase, mientras que los puntos indican los movimientos perdidos. A partir del diseño de fases de la figura se pueden crear cuatro conjuntos de movimientos:

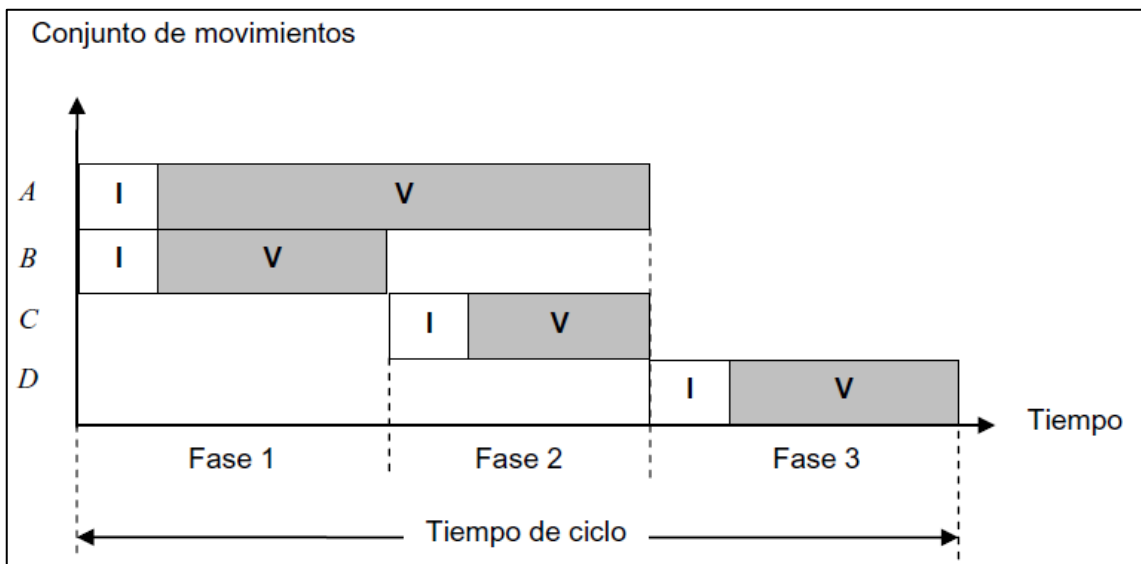
- A = [3,4]
- B = [1]
- C = [5]
- D = [2,6]



**Figura 2-26:** Diseño de fases para la intersección.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

Graficando estos conjuntos que tienen verde en cada fase, se obtiene la figura siguiente, en que **I** es el entreverde y **V** es el verde para cada conjunto de movimientos. Se estima que el conjunto **A** tiene verde en más de una fase. Por lo tanto, los movimientos 3 y 4 son los movimientos traslapados para este diseño de fases. También se puede apreciar la suma de tiempos de duración de las fases correspondientes al tiempo de ciclo del semáforo (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).



**Figura 2-27:** Conjunto de movimientos traslapados en el diseño de fases.

Fuente: (AGUILERA, 2014).

## 2.6.4 Cálculo de los tiempos de semaforización.

### ***Intervalo de cambio de fase.***

La función o el trabajo del intervalo de fase es la de alertar al conductor sobre el derecho de uso de la intersección, la cual nos indica el tiempo en el que el conductor debe prevenir el uso de desaceleración del vehículo y el de despegue de la intersección puesto que los tiempos que nos entrega esta función es amarillo mas todo rojo.

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

**Ecuación 2. 1**

Dónde:

**y** = Intervalo de cambio de fase, amarillo mas todo rojo.

**t** = Tiempo de percepción y reacción del conductor por lo general se usa 1 seg.

**v** = Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s).

**a** = Tasa de desaceleración por lo general se usa 3,05 m/s<sup>2</sup>.

**W** = Ancho de la intersección en metros.

**L** = Longitud del vehículo (6,10 m) (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

### ***Vehículos equivalentes.***

En este caso se tiene que cuando todos los vehículos que salen de una intersección seguirían de frente, se tiene tasas máximas de flujo con intervalos casi iguales, pero no siempre sucede estos casos por lo que existen vehículos grandes y también lo vehículos giran a la derecha y a la izquierda. Para estos aspectos se debe agregar y tener en cuenta los factores de equivalencia.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

**Ecuación 2. 2**



Dónde:

$F_{HB}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados.

$P_T$  = % de camiones en corriente vehicular.

$E_T$  = Autos que equivalen a camiones.

$P_B$  = % de autobuses en corriente.

$E_B$  = Autos que equivalen a un autobús.

$P_R$  = % de vehículos recreativos en corriente vehicular.

$E_R$  = Automóviles que equivalen a un vehículo recreativo.

Los vehículos de mayor tamaño como: los camiones equivalen 3,5 automóviles, seguido por los buses que equivalen a 2 automóviles, y por último los vehículos recreativos que equivalen a 1,5. Estos a su vez por su tamaño y peso necesitan mayor tiempo de despeje en la intersección.

Por otro lado; existen factores por movilidad de vuelta, debido que en este tipo de maniobra los vehículos ocupan mayor tiempo que los vehículos que viajan sin un sentido de giro. Este tipo de factores se utilizan para transformar vehículos que giran a la izquierda y derecha en vehículos directos equivalentes, este tipo de giros varían de acuerdo a la (tabla 10) donde se utiliza para vueltas hacia la izquierda ( $E_{vi}$ ).

**Tabla 2-12:** Automóviles equivalentes para vueltas hacia la izquierda ( $E_{vi}$ ).

Flujo opuesto (veh/h)	Número de carriles opuestos		
	1	2	3
0	1,1	1,1	1,1
200	2,5	2	1,8
400	5	3	2,5
600	10	5	4
800	13	8	6
1000	15	13	10
≥ 1200	15	15	15

Para vueltas a la izquierda protegidas ( $E_{vi} = 1,05$ )

Fuente: (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

Mientras que los factores de vueltas para la derecha se pueden apreciar en la siguiente tabla, asignando su valor en base al volumen de peatones en la intersección.

**Tabla 2-13:** Automóviles equivalentes para vueltas hacia la derecha ( $E_{VC}$ ).

Volumen peatonal en el cruce peatonal en conflicto (peatones/h)	Equivalente
Ninguno (0)	1,18
Bajo (50)	1,21
Moderado (200)	1,32
Alto (400)	1,52
Extremo (800)	2,14

Fuente: (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

De la misma manera los volúmenes de máxima demanda (VHMD), también se transforma a tasas de flujo, por medio del factor de hora de máxima demanda (FHMD), en casos de proyecto y planes de tiempo del semáforo, se sugiere un valor de 0,95 (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

$$q_{AD} = \frac{VHMD_C}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$$

**Ecuación 2. 3**

Dónde:

$q_{AD}$  = Movimientos por carril central.

**VHMD** = Volúmenes de máxima demanda de vehículos sin giro.

**FHMD** = Factor de hora de máxima demanda.

$f_{HB}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados.

Los vehículos que giran hacia la izquierda de igual manera tienen un factor de ajuste por motivo de giro, en el cual se pierde un porcentaje de tiempo llamado  $E_{VI}$  que a continuación se representa en la ecuación 2.4, además el factor de hora de máxima demanda (FHMD), en casos de proyectos y planes de tiempo del semáforo, se sugiere utilizar un valor de 0,95.

$$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$$

**Ecuación 2. 4**

Dónde:

$q_{VI}$  = Vehículos equivalentes que giran hacia la izquierda.

$VHMD_{VI}$  = Volúmenes de máxima demanda que giran a la izquierda.

$FHMD$  = Factor de hora de máxima demanda.

$f_{HB}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados.

Los vehículos que giran hacia derecha de igual manera tienen un factor de ajuste por motivo de giro, donde se pierde un porcentaje de tiempo llamado  $E_{VD}$  que a continuación se representa en la ecuación 2.5, igualmente el factor de hora de máxima demanda (FHMD), se sugiere un valor de 0,95, en casos de proyectos y semaforización.

$$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$$

**Ecuación 2. 5**

Dónde:

$q_{VD}$  = Vehículos equivalentes que giran hacia la derecha.

$VHMD_{VD}$  = Volúmenes de máxima demanda que giran hacia la derecha.

$FHMD$  = Factor de hora de máxima demanda.

$f_{HB}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados.

### ***Longitud del ciclo.***

Webster en base a estudios, observaciones y simulaciones demostró que el tiempo de demora de un vehículo en una intersección con semáforo se puede obtener por medio de una longitud de ciclo inmejorable (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$$

**Ecuación 2. 6**

Dónde:

$C_0$  = tiempo óptimo de ciclo en segundos.

$L$  = tiempo total perdido del ciclo en segundos.

$Y_i$  = es el valor máximo en la relación entre el flujo actual y de saturación para el acceso crítico de carril  $i$ .

$\phi$  = número total de fases (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

### ***Flujo de saturación y tiempo perdido.***

R. Akcelik es el investigador que más estudio la capacidad de intersecciones con semáforos en base a los conceptos de flujo de saturación, tiempo perdido, vehículos equivalentes, y verde efectivo. Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos que cruza la línea de Pare se incrementa rápidamente a una tasa llamada flujo de saturación ( $s$ ), esta tasa de vehículos que cruza la línea al arrancar es menor durante los primeros segundos, mientras los vehículos aceleran hasta alcanzar una velocidad de marcha normal (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

$$L = \sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i)$$

**Ecuación 2. 7**

Dónde:

$L$  = Tiempo perdido.

$A_1$  = Es el Ámbar o amarillo.

$TR_1$  = Es el todo rojo.

Los cuales se calculan en el intervalo de cambio de fase.

**Máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (s) por carril para cada fase.**

Este cálculo se realiza para verificar cuanto tiempo tendrá el semáforo y este permanezca en verde, para lo cual, el cálculo se lo realizará a los carriles de mayor flujo vehicular sin importar el sentido, donde  $s = 1900$  (dato tomado de las normas INEN), que equivale a los vehículos ligeros por hora de luz verde por carril.

$$Y_1 = \frac{q_{1\max}}{s}$$

**Ecuación 2. 8**

Dónde:

$Y_1$  = Relación de flujo.

$q_{1\max}$  = flujo critico o máximo por carril de la fase.

$S$  = flujo de saturación.

**Asignación de tiempos verdes.**

Este tiempo verde efectivo total  $g_T$ , disponible por ciclo para todos los accesos de la intersección, está dado por la siguiente ecuación:

$$g_T = C - L = C - \left[ \sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i) \right]$$

**Ecuación 2. 9**

Dónde:

$g_T$  = Tiempo verde efectivo por ciclo disponible para todos los accesos.

$C$  = longitud total del ciclo redondeado a los 5 segundos más cercanos.

$L$  = Tiempo perdido.

**Calculo de los tiempos de verdes efectivos por fase ( $g_i$ ).**

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  $Y$ , siendo este el valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para acceso o movimiento o carril crítico de cada fase.

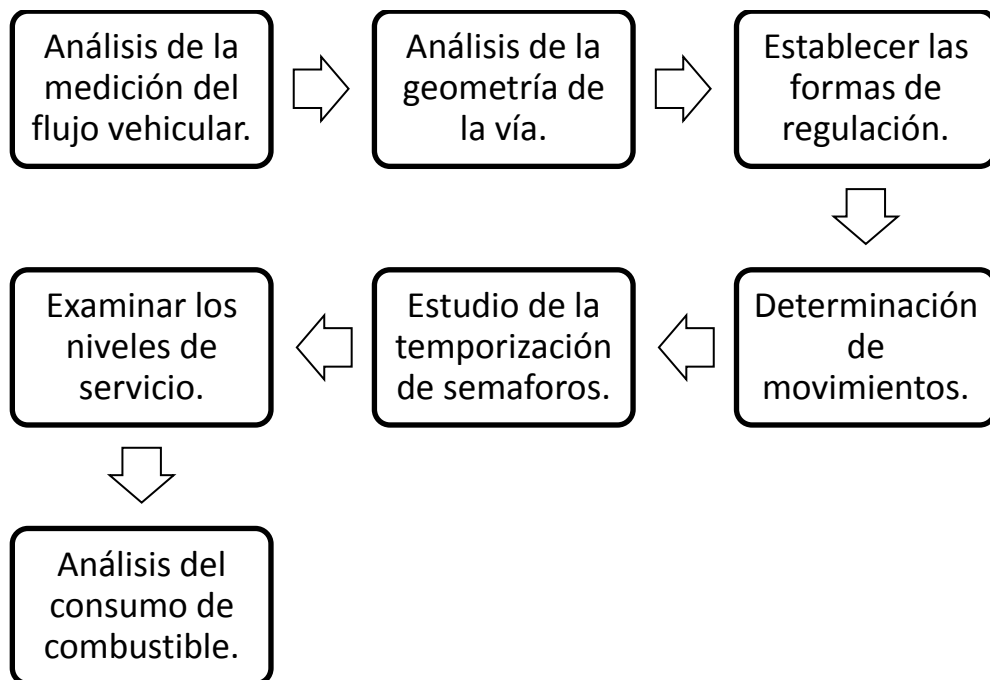
$$g_1 = \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4} (g_T)$$

**Ecuación 2. 10**

## CAPITULO III

### 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

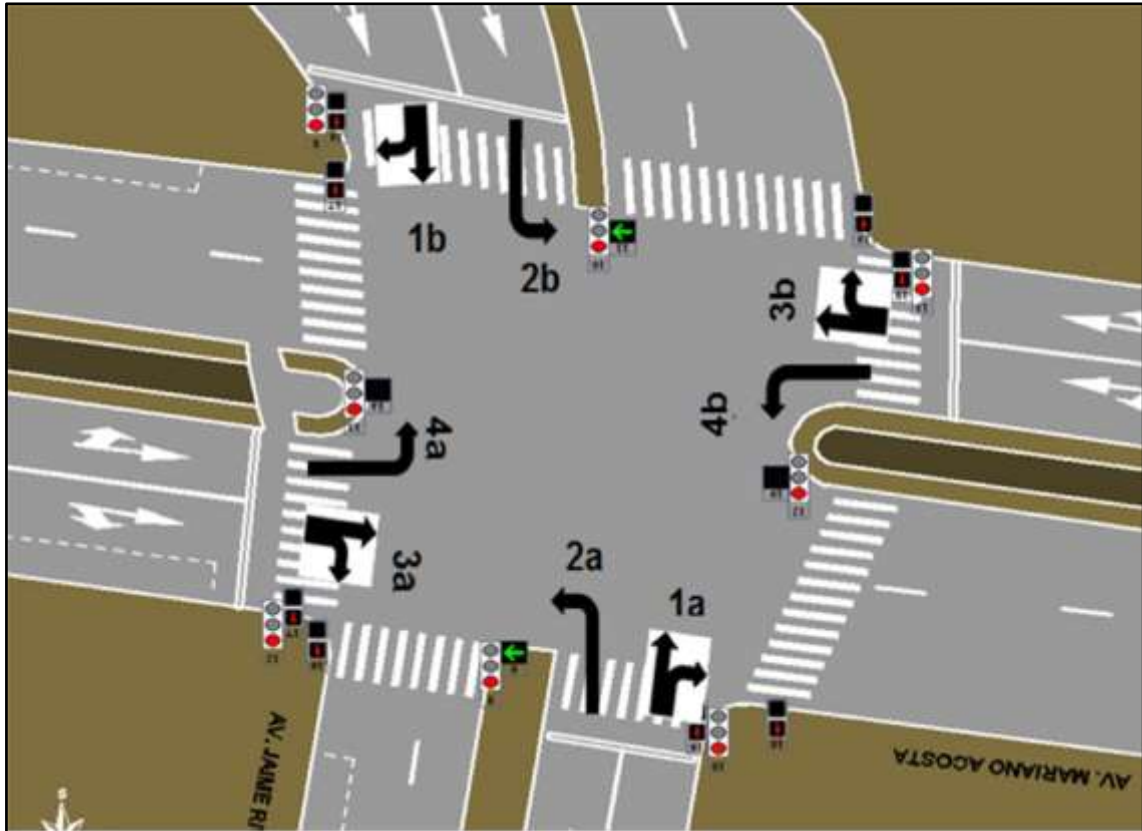
Para complementar esta investigación se propone aplicar la metodología de Rafael Cal y Mayor R. sobre los fundamentos y aplicaciones de la ingeniería de tránsito, a través de la toma y recolección de datos brindados por la Empresa Pública de Movilidad (MEP), la metodología consta de siete etapas, en las cuales se indican los pasos que se deben seguir para la temporización de semáforos en cualquier intersección de Ibarra, para disminuir el tiempo de espera, las colas y los niveles de servicio.



**Figura 3-1:** Diagrama de bloques.

#### 3.1 Medición de flujo vehicular.

Para el desarrollo de la presente metodología, se opta por seleccionar la intersección de la avenida Mariano Acosta y la avenida Jaime Rivadeneira, ubicada en el centro de la ciudad, por poseer un ciclo de 4 fases con giros permitidos hacia la derecha y giros protegidos hacia la izquierda con su respectiva fase, además de ser una de las intersecciones con mayor flujo vehicular durante los diferentes periodos del día.



**Figura 3-2:** Intersección Av. Jaime Rivadeneira y Av. Mariano Acosta.  
Fuente: (MEP, 2016).

En esta intersección existe una gran demanda de congestión vehicular, debido a que alrededor de ella se sitúan centros comerciales como el AKI y Laguna Mall, instituciones bancarias importantes como el Banco de Pichincha, del Austro y VisionFund, además de cooperativas de gran prestigio dentro de la localidad como: Imbaburaparc y Pilahuin Tío. En la avenida Jaime Rivadeneira se encuentran varios locales de venta de repuestos automotrices y de plomería, donde la circulación peatonal y vehicular siempre es elevado.

La toma de los conteos se la realiza entre semana, ya que según la MEP en estos días existe un mayor volumen de vehículos dentro de la ciudad, en un periodo comprendido entre las 07:00 am y las 08:00 am, estos conteos se realizaran manualmente clasificándolos en: vehículos pequeños, recreativos (Suv), buses y camiones en sus respectivos sentidos de circulación.





**Figura 3-3:** Foto medición ancho de la calzada

Para la recolección de datos se definen 4 puntos específicos de conteo, como se indica en la tabla 3-1, ubicando en cada esquina de la intersección a un compañero encargado de observar y apuntar los movimientos que realizan los vehículos como son: giro a la derecha, giro a la izquierda y los vehículos que circulan derecho (sin giro).

**Tabla 3-1:** Programación de conteos vehiculares.

INTERSECCIÓN MARIANO ACOSTA Y JAIME RIVADENEIRA	Hora de conteo los diferentes días (07:00 a 08:00)								
	Fase	1a	1b	2 <sup>a</sup>	2b	3 <sup>a</sup>	3b	4a	4b
Sentido	Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Este	Sur-Oeste	Este-Oeste	Oeste-Este	Este-Sur	Oeste-Norte	
Sin Giro	345	211			194	360			
Giro Der	63	5			76	222			
Giro Izq.			76	104			74	145	

### 3.2 Análisis de la geometría de la intersección.

La intersección a estudiar se encuentra dentro del área urbana de la ciudad de Ibarra en donde:

- Avenida Mariano Acosta: Vía principal, de doble sentido de circulación, con dos calzadas de 8.90m y 10,68m, separadas por un parterre central de 4.06m, además cada calzada cuenta con 2 carriles de circulación que determinan los tres tipos de movimientos mencionados anteriormente.

- Avenida Jaime Rivadeneira: de doble sentido de circulación, cuenta con 2 calzadas de 11.48m y 11.44m, separadas por un parterre de 1m, de igual manera consta de 2 carriles de circulación en cada una de sus calzadas para los movimientos mencionados.

### 3.2.1 Señalización horizontal y vertical.

Estas dos avenidas cuentan con una buena señalización vertical, mientras que la horizontal no es tan buena por su falta de visibilidad, debido al uso diario a las que están sometidas, como es el caso de la avenida Mariano Acosta por el gran volumen vehicular. Estas señales fueron colocadas por GAD-Ibarra, siguiendo las normas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), esto permite que el estudio sea factible y viable en esta intersección, facilitando la toma de datos y su interpretación.



**Figura 3-4:** Señalización horizontal de la intersección.

Fuente: Satélite Google Maps.

Estas avenidas cuentan con una señalización horizontal, empezando con líneas continuas en la calzada, las cuales tienen una longitud de 3m, un ancho de 15cm y se encuentran separadas a una distancia de 4,5m cada una, además el cruce peatonal (paso cebra) tiene las siguientes medidas: una longitud de 4m, un ancho de 40cm y una separación de 60cm.

Entre las señales verticales se encuentran los semáforos que se ubican en los parterres y aceras de las avenidas, los cuales fueron instalados con las respectivas normas INEN por parte del municipio, permitiendo al conductor y peatón observar claramente las 3 fases que posee cada semáforo en la intersección.



**Figura 3-5:** Señales verticales de la intersección.

Fuente: Satélite Google Maps.

Estos semáforos cumplen con las siguientes medidas para su instalación y funcionamiento: los báculos de tres secciones, que está instalados dentro de la intersección analizada, tienen una altura máxima de 6m para visibilidad de conductores en una vía de dos carriles, mientras que en el de dos secciones la altura máxima es de 4m y la altura para en semáforo peatonal es de 2.40m, estos están colocados a 80cm del borde de la acera.

### 3.3 Formas de regulación.

Las formas de regulación de estas dos avenidas situadas en el centro de la ciudad, están bien diseñadas, por que cumple con los cinco objetivos de canalización de intersección establecidas por los Temas de Ingeniería y Gestión de Transito de (AGUILERA, 2014), mencionados anteriormente en el capítulo II, por lo que:

- Las maniobras en esta intersección son bien interpretadas por los conductores, debido a la demarcación existente en la calzada y sus señales horizontales y verticales, anticipan al conductor los virajes respectivos que se puede realizar en la misma.
- Las dos avenidas cuentan con áreas de espera tanto para peatones (parterre) como para vehículos (soleras), que permiten al conductor acceder a un carril de uso exclusivo de viraje a la izquierda.
- La visibilidad al aproximarse a la intersección y una vez dentro de la misma, es totalmente clara y fácil de apreciar, debido a la altura que tienen los báculos de los semáforos y su ubicación correcta al momento de su instalación.
- Esta intersección cuenta con avenidas parcialmente perpendiculares una con respecto a la otra, facilitando los cruces peatonales y las maniobras de giro en la calzada, además la gran parte de vehículos no excede el límite de velocidad de llegada a la intersección de 40Km/h, establecida por la agencia nacional de tránsito.
- El único movimiento a impedir en estas avenidas, es la implementación, de una señal de giro prohibido en U, a través de una señalización vertical de orden instalada en cada parterre.

### **3.4 Determinación de movimientos.**

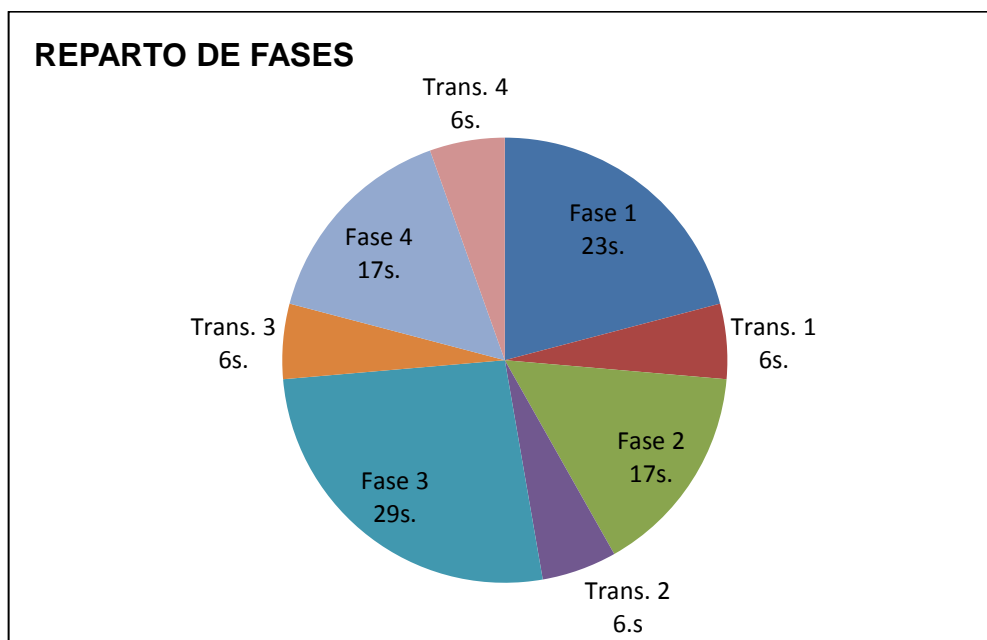
Los movimientos en esta intersección están determinados por las fases y tiempos que poseen los semáforos, cada avenida cuenta con su respectiva fase (verde, amarillo y rojo), además las dos avenidas tienen una fase para los giros protegidos a la izquierda, haciendo que esta intersección sea de 4 fases para completar un ciclo de 110 segundos.

**Tabla 3-2:** Ciclo de 110 segundos de la intersección.

FASE	AVENIDA	TIEMPO EN SEGUNDOS	100%	AMARRILO + TODO ROJO (seg)
1	Jaime Rivadeneira	23s	28	6s
2	Giro a la izq. Jaime Rivadeneira	17s	21	6s
3	Av. Mariano Acosta	29s	30	6s
4	Giro a la izq. Mariano Acosta	17s	21	6s

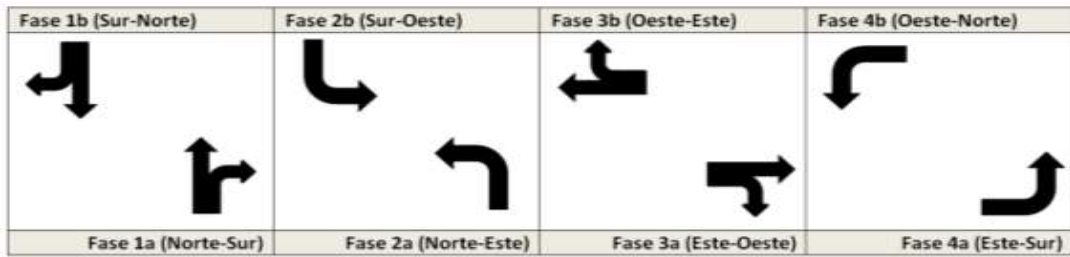
Fuente: (MEP, 2016).

A continuación se representa el reparto de fases para el ciclo actual de 110 seg, en la intersección de las avenidas Mariano Acosta y Jaime Rivadeneira, con sus respectivos sentidos, fases de tiempos y tiempos perdidos (ámbar más todo rojo), se toma en cuenta que el sentido de giro de las fases es horario.



**Figura 3-6:** Reparto de fases en un ciclo de 110 seg.

En la siguiente grafica se representa los movimientos que se generan dentro de la intersección de acuerdo a cada una de las respectivas fases, estas fases se dividen en dos sentidos diferentes denominados tipo a y b los cuales tienen el mismo tiempo de verde efectivo en la misma dirección pero sentido contrario.



**Figura 3-7:** Determinación de movimientos en sus respectivas fases.

Para la temporización de un ciclo de dos fases, cabe recalcar que los movimientos en una intersección están determinados por los tiempos que poseen los semáforos, cada calzada cuenta con su respectiva fase (verde, amarillo y rojo), además estas tienen un solo sentido de dirección, por lo que no es necesario las fases para el tiempo de giro protegido a la izquierda.

### 3.5 Temporización del semáforo.

Para el presente proyecto se plantea desarrollar 9 pasos que determinan los tiempos reales que posee cada semáforo dentro de la intersección, de esta manera poder determinar si la metodología es viable para identificar el ciclo y así descongestionar la gran cantidad de vehículos que circulan en los 4 sentidos.

#### 3.5.1 Toma de datos dentro de la intersección en conflicto.

Identificar la intersección con mayor conflicto de flujo vehicular y la toma de datos en la hora de máxima demanda, según la (MEP) la hora de máxima demanda en esta intersección es en el horario de 07:00 a 08:00 am, hora en la cual se levantan los datos necesarios que a continuación se detallaran en tablas.

**Tabla 3-3:** Toma de datos Sentido Norte-Sur.

Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Tipos de autos	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	1	26	13	24	49	80	0	25	0	64	0	126	2	27	47
Total %	27 (5.58%)		37 (7.64%)		129 (26.65%)		25 (5.16%)		64 (13.22%)		126 (26.03%)		76 (15.70%)		
Total Carril	193 38.88%						215 44.42%						76 (15.70%)		
<b>TOTAL</b>	<b>484 = 100%</b>														

La tabla 3-3 indica el conteo realizado manualmente del número promedio de vehículos que circulan en sentido Norte-Sur por sus respectivos carriles además, indica el % de vehículos según el carril al que pertenecen.

**Tabla 3-4:** Toma de datos sentido Sur-Norte.

Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Tipos de autos	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	0	7	4	57	1	147	0	0	0	0	0	0	19	29	56
Total %	7 (2,18%)		61 (19.06%)		148 (46.25%)		0 (0%)		0 (0%)		0 (0%)		104 (32.5%)		
Total Carril	216 67.50%						0 0%						104 32.5%		
<b>TOTAL</b>	<b>320 = 100%</b>														

En la tabla 3-4 se puede observar el conteo realizado manualmente del número promedio de vehículos por sus respectivos carriles como son el central, el carril izquierdo y el carril derecho.

**Tabla 3-5:** Toma de datos Sentido Oeste-Este.

Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Tipos de autos	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	31	3	74	24	117	32	0	11	0	113	0	177	15	50	80
Total %	34 (4.67%)		98 (13.48%)		149 (20.505)		11 (1,51%)		113 (15.54%)		177 (24.34%)		145 (19.94%)		
Total Carril	281 38.65%						301 41.40%						145 19.94%		
<b>TOTAL</b>	<b>727 = 100%</b>														

La tabla 3-5 indica el número promedio de vehículos que circulan en sentido Oeste-Este, en esta tabla se puede apreciar que este sentido es el de mayor conflicto, por lo tanto será tomado en cuenta para realizar la metodología.



**Tabla 3-6:** Toma de datos Sentido Este-Oeste.

Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Tipos de autos															
Giros	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	4	18	21	16	51	33	0	14	0	47	0	66	3	25	46
Total %	22 (6.39%)		37 (10.75%)		84 (24.42%)		14 (4.06%)		47 (13.66%)		66 (19.18%)		74 (21.51%)		
Total Carril	143 41.57%						127 36.91%						74 21.51%		
<b>TOTAL</b>	<b>344 = 100%</b>														

Para la presente metodología no se toma en cuenta la circulación de motociclistas principalmente por la baja demanda de los mismos, además estos vehículos no generan una cola debido a que su tamaño le permite circular de una forma aleatoria a través de los vehículos de 4 o más ruedas, lo que hace imposible la toma de datos.

### 3.5.2 Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.

Calcular el factor de efecto ( $F_{HV}$ ) de autobuses y automóviles recreativos (factor de ajuste por presencia de vehículos pesados), para encontrar el valor de los vehículos directos equivalentes en todos los sentidos, puesto que no todos los vehículos tienen la misma longitud al momento de cruzar la intersección.

#### **En sentido Norte-Sur:**

$P_B$  = % de autobuses en corriente. 11,16%

$E_B$  = autos que equivalen a un autobús. 2

$P_R$  = % de vehículos recreativos en corriente vehicular. 26,44%

$E_R$  = automóviles que equivalen a un vehículo recreativo. 1,5

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0(3,5-1) + 11,16(2-1) + 26,44(1,5-1)}$$

$$f_{HV} = \frac{100}{124,38}$$

$$f_{HV} = 0,80$$



**En sentido Sur-Norte:**

$P_B$  = % de autobuses en corriente. 8,12%

$E_B$  = autos que equivalen a un autobús. 2

$P_R$  = % de vehículos recreativos en corriente vehicular. 28,12%

$E_R$  = automóviles que equivalen a un vehículo recreativo. 1,5

Aplicación de la ecuación 2.2

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0(3,5 - 1) + 8,12(2 - 1) + 28,12(1,5 - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{100}{122,18}$$

$$f_{HV} = 0,82$$

**En sentido Oeste-Este:**

$P_B$  = % de autobuses en corriente. 8,24%

$E_B$  = autos que equivalen a un autobús. 2

$P_R$  = % de vehículos recreativos en corriente vehicular. 35,9%

$E_R$  = automóviles que equivalen a un vehículo recreativo. 1,5

Aplicación de la ecuación 2.2

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0(3,5 - 1) + 8,24(2 - 1) + 35,9(1,5 - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{100}{126,19}$$

$$f_{HV} = 0,79$$

**En sentido Este-Oeste:**

$P_B$  = % de autobuses en corriente. 11,33%

$E_B$  = autos que equivalen a un autobús. 2

$P_R$  = % de vehículos recreativos en corriente vehicular. 31,68%

$E_R$  = automóviles que equivalen a un vehículo recreativo. 1,5

Aplicación de la ecuación 2.2

$$f_{HV} = \frac{100}{100+0(3,5-1)+11,33(2-1)+31,68(1,5-1)}$$

$$f_{HV} = 0,78$$

### 3.5.3 Vehículos directos equivalentes.

Calcular los diferentes flujos de vehículos directos equivalentes ( $q_{ADE}$ ) para los cuatro accesos de la intersección, incluidos en este el movimiento directo del carril derecho, el movimiento directo del carril central, vuelta a la izquierda y vuelta a la derecha.

Se recomienda que, para el estudio del proyecto o diseño de tiempos de semáforos el valor de FHMD = 0.95, datos adquirido del libro de ingeniería en tránsito de (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

**Tabla 3-7:** Cálculo de vehículos equivalentes sentidos Norte y Sur.

Sentido Norte-Sur			
Vuela a la izquierda	Carril central	Carril derecho	Vuelta a la derecha
$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$	$q_{AD} = \frac{VHMD_C}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{AD} = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$
$q_{VI} = \frac{76}{0,95} \left( \frac{1}{0,80} \right) (1,05)$	$q_{AD} = \frac{215}{0,95} \left( \frac{1}{0,80} \right)$	$q_{AD} = \frac{130}{0,95} \left( \frac{1}{0,80} \right)$	$q_{VD} = \frac{63}{0,95} \left( \frac{1}{0,80} \right) (1,18)$
$q_{VI} = 105 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 283 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 171 \text{ ADE/h}$	$q_{VD} = 98 \text{ ADE/h}$
Sentido Sur-Norte			
Vuela a la izquierda	Carril central	Carril derecho	Vuelta a la derecha
$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$	$q_{AD} = \frac{VHMD_C}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$		$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$
$q_{VI} = \frac{104}{0,95} \left( \frac{1}{0,82} \right) (1,05)$	$q_{AD} = \frac{211}{0,95} \left( \frac{1}{0,82} \right)$		$q_{VD} = \frac{5}{0,95} \left( \frac{1}{0,82} \right) (1,18)$
$q_{VI} = 144 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 271 \text{ ADE/h}$		$q_{VD} = 8 \text{ ADE/h}$

En la tabla anterior de los cálculos de vehículos equivalentes que circulan por el sentido Norte y Sur se puede observar que en los carriles sin giro, el de mayor flujo vehicular es el carril central en sentido Norte-Sur con un total de vehículos de 283 y de los carriles con giro a la izquierda el de mayor flujo es el de sentido Norte-Oeste con un total de 144 vehículos, estos valores son importantes para la identificación de cada fases según el sentido y el giro.

**Tabla 3-8:** Cálculo de vehículos equivalentes sentidos Este y Oeste.

<b>Sentido Oeste-Este</b>			
<b>Vuela a la izquierda</b>	<b>Carril central</b>	<b>Carril derecho</b>	<b>Vuelta a la derecha</b>
$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$	$q_{AD} = \frac{VHMD_C}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{AD} = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$
$q_{VI} = \frac{145}{0,95} \left( \frac{1}{0,79} \right) (1,05)$	$q_{AD} = \frac{301}{0,95} \left( \frac{1}{0,79} \right)$	$q_{AD} = \frac{59}{0,95} \left( \frac{1}{0,79} \right)$	$q_{VD} = \frac{222}{0,95} \left( \frac{1}{0,79} \right) (1,18)$
$q_{VI} = 203 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 401 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 79 \text{ ADE/h}$	$q_{VD} = 249 \text{ ADE/h}$
<b>Sentido Este-Oeste</b>			
<b>Vuela a la izquierda</b>	<b>Carril central</b>	<b>Carril derecho</b>	<b>Vuelta a la derecha</b>
$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$	$q_{AD} = \frac{VHMD_C}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{AD} = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$
$q_{VI} = \frac{74}{0,95} \left( \frac{1}{0,78} \right) (1,05)$	$q_{AD} = \frac{127}{0,95} \left( \frac{1}{0,78} \right)$	$q_{AD} = \frac{67}{0,95} \left( \frac{1}{0,78} \right)$	$q_{VD} = \frac{76}{0,95} \left( \frac{1}{0,78} \right) (1,18)$
$q_{VI} = 105 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 171 \text{ ADE/h}$	$q_{AD} = 90 \text{ ADE/h}$	$q_{VD} = 121 \text{ ADE/h}$

En la tabla anterior de los cálculos de vehículos equivalentes que circulan por el sentido Este y Oeste se puede observar que en los carriles sin giro, el de mayor flujo vehicular es el carril central en sentido Oeste-Este con un total de vehículos de 401 y de los carriles con giro a la izquierda el de mayor flujo es el de sentido Este-Norte con un total de 203 vehículos.

### 3.5.4 Tiempos de amarillo y todo rojo.

Calcular la longitud de los intervalos de cambio de fase ( $y$ ), sirve para alertar al conductor de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección, es decir de amarillo a todo rojo (momento en el cual las dos fases de cruce de la intersección están en rojo, asignando un valor determinado de 3 segundos).

#### **Intervalo de cambio para los accesos Norte y Sur:**

$$W = 23,64 \text{ m} + 3\text{m (paso peatonal)} = 26,64\text{m}$$

Aplicación de la ecuación 2.1

$$y = \left( 1\text{s} + \frac{40\text{km/h}}{2 \left( \frac{3,05\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right) + \left( \frac{26,64\text{m} + 6,10\text{m}}{\frac{40\text{km}}{\text{h}}} \right)$$

Se transforma la velocidad de km/h a m/s.

$$v = 11.11 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Por lo tanto,

$$y = \left( 1s + \frac{11.11m/s}{2 \left( \frac{3.05m}{s^2} \right)} \right) + \left( \frac{26.64m + 6.10m}{11.11m/s} \right)$$

$$y = (2.82s) + (2.95s)$$

$$y = 3s + 3s$$

Amarillo =  $A_1 = 3s$

Todo rojo =  $TR_2 = 3s$

**Intervalo de cambio para los accesos Este y Oeste:**

$W = 23.92 m + 3m$  (paso peatonal) = 26.92m

Aplicación de la ecuación 2.1

$$y = \left( 1s + \frac{40km/h}{2 \left( \frac{3.05m}{s^2} \right)} \right) + \left( \frac{26.92m + 6.10m}{\frac{40km}{h}} \right)$$

Se transforma la velocidad de km/h a m/s.

$$v = 11.11 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Por lo tanto,

$$y = \left( 1s + \frac{11.11m/s}{2 \left( \frac{3.05m}{s^2} \right)} \right) + \left( \frac{26.92m + 6.10m}{11.11m/s} \right)$$

$$y = (2.82s) + (2.97s)$$

$$y = 3s + 3s$$

Amarillo =  $A_1 = 3s$

Todo rojo =  $TR_2 = 3s$

### 3.5.5 Tiempos totales perdidos.

Calcular el tiempo total perdido por el ciclo (L) dentro de la intersección, se procede a realiza la sumatoria de todos los valores obtenidos de amarillo y todo rojo, del ciclo total de la intersección.

Aplicación de la ecuación 2.7

$$L = [(3s + 3s) + (3s + 3s) + (3s + 3s) + (3s + 3s)]$$

$$L = 24s$$

### 3.5.6 Máximas relaciones de flujo.

Calcular las máximas relaciones de flujo (q) a flujo de saturación (s).

- s = flujo de saturación = 1900 (dato obtenido de normas INEN), que equivale a los vehículos ligeros por hora de luz verde por carril.
- $Q_{max}$  = valores máximos de los automóviles directos equivalentes por hora, partiendo desde el carril con mayor flujo vehicular en sentido horario.

Aplicación de la ecuación 2.8

**Tabla 3-9:** Identificación de los carriles con mayor flujo vehicular.

<b>Sentido Norte-Sur 1a:</b>	<b>Sentido Sur- Oeste 2b:</b>
$Y_1 = \frac{q_{2max}}{s} = \frac{283}{1900} = 0,148$	$Y_2 = \frac{q_{3max}}{s} = \frac{144}{1900} = 0,076$
<b>Sentido Oeste-Este 3b:</b>	<b>Sentido Oeste-Norte 4b:</b>
$Y_3 = \frac{q_{1max}}{s} = \frac{401}{1900} = 0,211$	$Y_4 = \frac{q_{4max}}{s} = \frac{203}{1900} = 0,107$

### 3.5.7 Ciclo óptimo de la intersección.

Calcular la longitud del ciclo óptimo ( $C_o$ ). Este será el ciclo a utilizar en la intersección, gracias a la aplicación de la metodología, garantizando así la disminución de demoras y el consumo de combustible en ralentí.

- L= Tiempo perdido por el ciclo obtenido por la sumatoria de amarillo y todo rojo.

Aplicación de la ecuación 2.6

$$C_o = \frac{1,5(24s) + 5}{1 - Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4}$$

$$C_o = \frac{41s}{1 - 0,211 - 0,107 - 0,148 - 0,076}$$

$$C_o = 90 \text{ seg}$$

### 3.5.8 Tiempo del verde efectivo total en la intersección.

Calcular el tiempo de verde efectivo total ( $g_T$ ). Se lo realiza restando la longitud de ciclo óptimo menos el tiempo perdido por el ciclo, y resultado será el total de verdes en toda la intersección.

Aplicación de la ecuación 2.9

$$g_T = 90s - 24s$$

$$g_T = 66s$$

### 3.5.9 Tiempos en verde para cada fase de la intersección.

Para finalizar se calcula los tiempos verdes efectivos, en cada una de las vías de la intersección ( $g_i$ ), donde la  $\sum_{i=1}^4 Y_i = 0,542$ . Obteniendo los siguientes valores en segundos, mediante la aplicación de la metodología propuesta.

Aplicación de la ecuación 2.10

**Tabla 3-10:** Verdes efectivos para cada fase de la intersección.

Norte-Sur 1a	Sur-Oeste 2b	Oeste-Este 3b	Oeste-Norte 4b
$g_3 = \frac{Y_3}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$	$g_4 = \frac{Y_4}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$	$g_1 = \frac{Y_1}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$	$g_2 = \frac{Y_2}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$
$g_3 = \frac{0,148}{0,542} (66)$	$g_4 = \frac{0,076}{0,542} (66)$	$g_1 = \frac{0,211}{0,542} (66)$	$g_2 = \frac{0,107}{0,542} (66)$
<b><math>g_3 = 18 \text{ seg}</math></b>	<b><math>g_4 = 9 \text{ seg}</math></b>	<b><math>g_1 = 27 \text{ seg}</math></b>	<b><math>g_2 = 12 \text{ seg}</math></b>

Para la temporización de una intersección de dos fases los pasos a seguir son los mismos, lo único que no se tomará en cuenta son los conteos de los giros protegidos a la izquierda, la intersección tendrá únicamente dos sentidos de estudio Norte-Sur y Este-Oeste.

**Tabla 3-11:** Tiempos semafóricos para los diferentes sentidos con ciclo de 90s.

Sentido Fase	Norte- Sur	Sur- Norte	Norte- Este	Sur- Oeste	Este- Oeste	Oeste- Este	Este- Sur	Oeste- Norte
Inicio de ciclo (3 seg espera)	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
1a y 1b (18 seg)	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
(6 seg)	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
2a y 2b (9 seg)	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
(6 seg)	Rojo	Rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Rojo	Rojo
3a y 3b (27 seg)	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Rojo	Rojo
(6 seg)	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo
4a y 4b (12 seg)	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Verde
(6 seg)	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Ámbar- Todo rojo	Ámbar- Todo rojo

### 3.6 Niveles de servicio.

Los niveles de servicio en una intersección semaforizada se determinan a través de las demoras que se generan en la misma, las cuales representan para el conductor un tiempo perdido de viaje, un consumo de combustible, incomodidad en la vía y por último ocasionar una gran frustración.

Para el presente proyecto es necesario utilizar la siguiente tabla de los niveles de servicio de la ingeniería de tránsito de (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007), la cual muestra los seis niveles de servicio más utilizados en la actualidad, en la mayor parte del mundo.

**Tabla 3-12:** Niveles de servicio en intersecciones con semáforos.

NIVEL DE SERVICIO	CONCEPTO	DEMORAS (Seg/Veh)
A	Se opera con demoras muy bajas dentro de los ciclos de una intersección.	≤10
B	Esta se da con ciclos muy bajos pero en este servicio los vehículos ya empiezan a detenerse.	10<D<20
C	La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos son mal utilizados.	20<D<35
D	La progresión del tránsito es mala debido a los aumentos de ciclo.	35<D<55
E	Se considera como el límite aceptable de demoras, las demoras son causadas por progresiones pobres ciclos largos y relaciones v/c largas.	55<D<80
F	Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección lo que ocasiona congestionamiento y mucha saturación.	>80

Fuente: (Cal, Mayor, & Cardenas, 2007).

### 3.7 Consumo de combustible.

El consumo de combustible en una intersección semaforizada se genera principalmente cuando el motor se encuentra en ralentí, cuando la fases del semáforo están en rojo ocasionando una cola acompañada del consumo de combustible y aumento en las emisiones contaminantes hacia el medio ambiente.

De acuerdo con un estudio realizado en la ciudad de Ibarra por el Msc. Fredy Rosero investigador y docente de la Universidad Técnica del Norte de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, en la siguiente tabla se apreciar los factores del consumo de combustible en ralentí y las emisiones de CO<sub>2</sub>, datos confiables para la desarrollo de la metodología.

**Tabla 3-13:** Consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> de los tipos de vehículos en ralentí.

FACTORES DE CONSUMO Y EMISIONES DE CO <sub>2</sub> .			
Variable	Vehiculó pequeño	Vehículos recreativos (suv)	Camiones-Buses
Consumo de combustible	204 mgr/seg	291 mgr/seg	620 mgr/seg
Emisiones de CO <sub>2</sub>	2370 gr/litro		2650 gr/litro

Fuente: (Fredy A. Rosero Obando, 2017), Harold Salazar y Marco Ochoa.



### 3.7.1 Cálculo del consumo de combustible en ralentí para intersecciones semaforizadas.

El consumo de combustible en estado de ralentí, es la cantidad de combustible consumido en el tiempo de espera de las fases en rojo de la intersección, este consumo puede ser calculado mediante la transformación del consumo de combustible en miligramos sobre segundo a centímetros cúbicos por ciclo para un vehículo tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Número de vehículos en la cola.
- Ciclo por hora.
- Horas diarias de congestión vehicular.
- Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.
- Datos del consumo (tabla 26)
- Densidad de combustible (gasolina 0,68 gr/cm<sup>3</sup> y diésel 0,85 gr/cm<sup>3</sup>) (Young & Freedman, 2013).
- Conversión de galones a cm<sup>3</sup>.

A continuación se muestra una tabla de conversión sencilla para obtener el consumo de combustible en ralentí que se genera en la intersección en unidades de galones al día.

**Tabla 3-14:** Tabla de conversión para el consumo de combustible en ralentí.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RALENTÍ (galones/día)						
$\frac{\# \text{ veh}}{\text{ día}}$	$\frac{\text{ tiempo en seg.}}{\# \text{ veh}}$	$\frac{\text{ consumo mgr}}{\text{ tiempo en seg.}}$	$\frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mgr}}$	$\frac{\text{ densidad cm}^3}{\text{ gr}}$	$\frac{1 \text{ gal}}{3785 \text{ cm}^3}$	$= \frac{\text{ gal}}{\text{ día}}$

### 3.7.2 Cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> en ralentí para intersecciones semaforizadas.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> en estado de ralentí, es la cantidad de combustible emitido al medio ambiente en el tiempo de espera de las fases en rojo de la intersección, esta emisión se calcula mediante la transformación de galones de combustible a toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 3-15:** Tabla de conversión para las emisiones CO<sub>2</sub> en ralentí.

EMISIONES DE COMBUSTIBLE EN RALENTÍ (toneladas/año)				
$\frac{\text{Galones}}{\text{año}}$	$\frac{3,78 \text{ litros}}{1 \text{ galón}}$	$\frac{\text{gr CO}_2}{1 \text{ litro}}$	$\frac{1 \text{ tonelada}}{10^6 \text{ gr}}$	$= \frac{\text{toneladas CO}_2}{\text{año}}$

#### ***Factores de emisiones en ralentí según la Agencia de Protección Ambiental (EPA).***

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos presenta los siguientes factores contaminantes en estado de ralentí, estos permiten medir el resto de las emisiones que se generan en las intersecciones semaforizadas.

**Tabla 3-16:** Factores contaminantes de emisiones inactivas en ralentí.

Emisiones contaminantes	Factores contaminantes según el tipo de vehículo.			Unidades
	Livianos	SUV	Buses y camiones	
CO	1,187	1,212	0,427	g/min
NO <sub>x</sub>	0.059	0,068	0.563	g/min
PM	-	-	0,20	g/min

Fuente: (EPA, 2008).

## CAPITULO IV

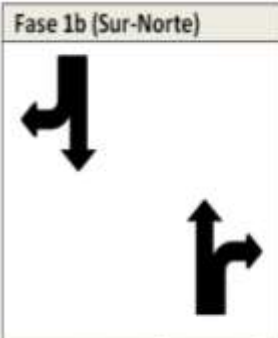
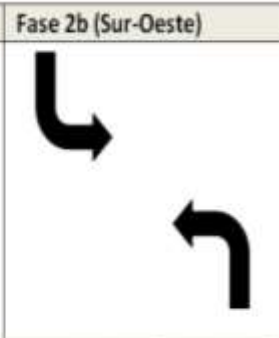
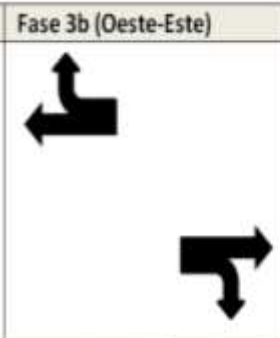
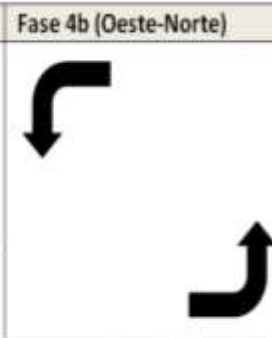
### 4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos en la propuesta desarrollada en el capítulo III, y la aplicación de toda la información recolectada en el capítulo II. En donde se analiza los tiempos de ciclo, el análisis de demoras con su respectiva cola, niveles de servicio para finalizar el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera generado por los vehículos en las intersecciones.

#### 4.1 Análisis de movimientos.

Los movimientos de esta intersección serán los mismos mencionados anteriormente, denominando a cada fase con una letra respectiva para identificar los sentidos de circulación que posee la intersección. La Av. Jaime Rivadeneira en sentido Norte-Sur y Sur-Norte tendrá una fase denominada 1a y 1b, los giros a la izquierda Norte-Este y Sur-Oeste serán 2a y 2b, por su parte la Av. Mariano Acosta en sentido Este-Oeste y Oeste-Este se representara por la fase 3a y 3b, mientras que los giros a la izquierda Este-Sur y Oeste-Norte serán 4a y 4b.

En la siguiente figura se puede identificar con mayor facilidad las fases que tiene la intersección para la realización de los diferentes análisis que ayudan al desarrollo de la metodología.

Fase 1b (Sur-Norte)	Fase 2b (Sur-Oeste)	Fase 3b (Oeste-Este)	Fase 4b (Oeste-Norte)
			
Fase 1a (Norte-Sur)	Fase 2a (Norte-Este)	Fase 3a (Este-Oeste)	Fase 4a (Este-Sur)

**Figura 4-1:** Tipos de movimientos dentro de la intersección.

## 4.2 Análisis tiempos de ciclo.

En la tabla 4-1 se establece una comparación de los tiempos de ciclo con sus respectivas fases, entre la información brindada por la MEP en condiciones actuales y la propuesta desarrollada con la aplicación de la metodología.

**Tabla 4-1:** Comparación de Ciclo Actual y Propuesto.

Avenida	Fase	Sentido	Tiempo actual en un ciclo de 110 seg.	Tiempo propuesto en un ciclo de 90 seg.	Tiempos de todo rojo más ámbar (amarillo) en seg
Jaime Rivadeneira.	1a	Norte-Sur	23.	18.	3s. Amarillo. 3s. Rojo.
	1b	Sur-Norte			
Giro izquierda Jaime Rivadeneira.	2a	Norte-Este	17.	9.	3s. Amarillo. 3s. Rojo.
	2b	Sur-Oeste			
Mariano Acosta.	3a	Este-Oeste	29.	27.	3s. Amarillo. 3s. Rojo.
	3b	Oeste-Este			
Giro izquierda Mariano Acosta.	4a	Este-Sur	17.	12.	3s. Amarillo. 3s. Rojo.
	4b	Oeste-Norte			

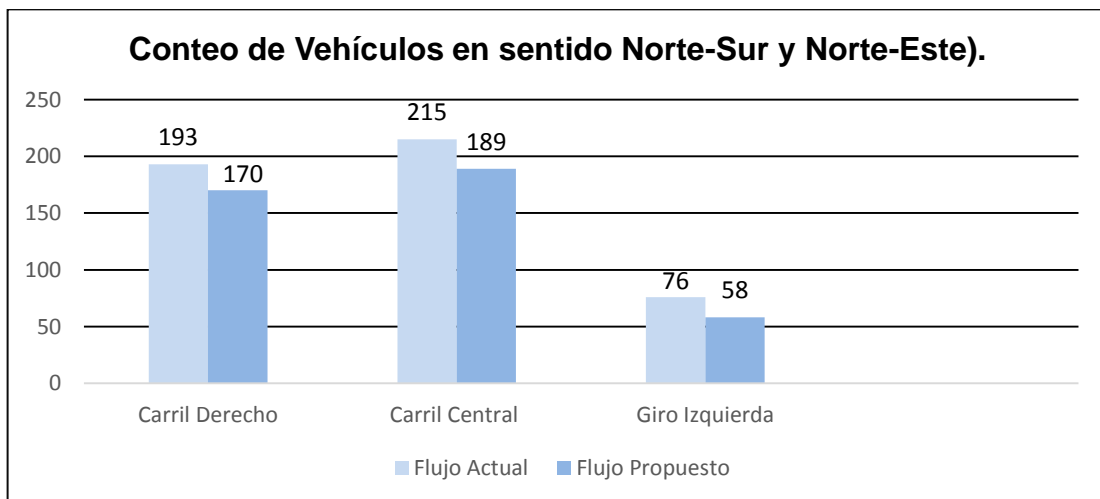
Según la investigación se puede determinar que para esta intersección es viable un ciclo de 90 segundos, más no el ciclo actual de 110 segundos establecido por la MEP (instalación ingenieros españoles SICE). El ciclo propuesto genera un flujo vehicular sin congestión en horas pico y disminuye la demora dentro de la misma, además se puede apreciar que en una hora con la metodología propuesta se obtienen 7 ciclos de diferencia a partir de los 40 obtenidos con la metodología propuesta y 33 con la actual, razón por la cual el tiempo de espera de los ocupantes de la vía disminuye.

A continuación en las tablas se detallan el flujo vehicular actual y el flujo vehicular propuesto con sus diferentes tiempos de fase en una hora, realizado a través de conteos manuales durante toda la investigación.

**Tabla 4-2:** Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentidos Norte-Sur (1a) con giro a la Izquierda Norte-Este (2a).

FLUJO ACTUAL															
Fases	1a												2a		
Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
Tipos de autos	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	1	26	13	24	49	80	0	25	0	64	0	126	2	27	47
<b>Total Carril</b>	193 38.88%						215 44.42%						76 (15.70%)		
<b>TOTAL</b>	<b>484 = 100%</b>														
FLUJO CON PROPUESTA															
Giros	3	27	8	21	39	72	0	22	0	58	0	109	4	19	35
<b>Total Carril</b>	170 40,76%						189 45,32%						58 13,9%		
<b>TOTAL</b>	<b>417 = 100%</b>														

En el sentido Norte-Sur se puede apreciar que el volumen promedio disminuye en 67 vehículos lo que significa una reducción de 13,84% y en sentido Norte-Este es de 18 vehículos, de igual manera se puede afirmar que la congestión disminuye y el flujo mejora con el ciclo propuesto de 90 segundos.



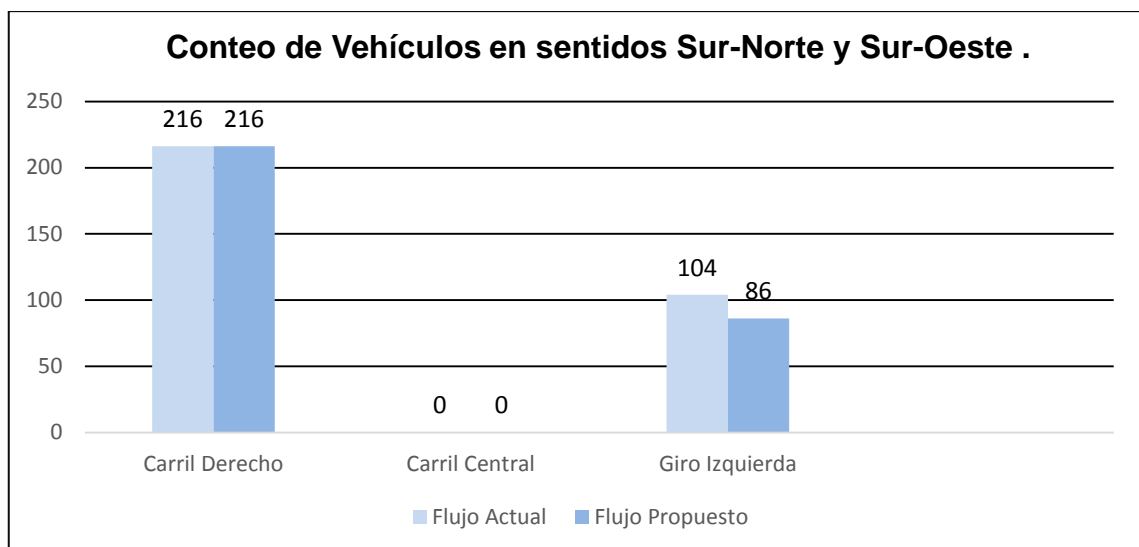
**Figura 4-2:** Conteo de Vehículos en sentido Norte-Sur y Norte-Este.

De igual manera se realiza la toma de datos con el ciclo propuesto de 90 segundos, donde el flujo vehicular eficiente hacia el sentido Norte-Sur con un cambio de fases de 23 a 18 segundos y Norte-Este con un cambio de fases de 17 a 9 segundos, disminuye en un volumen vehicular del 13,84%.

**Tabla 4-3:** Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentidos Sur-Norte (1b) con giro a la Izquierda Sur-Oeste (2b).

FLUJO ACTUAL															
Fases	1b												2b		
Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
Tipos de autos	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Giros	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
		0	7	4	57	1	147	0	0	0	0	0	0	19	29
<b>Total Carril</b>	216 67.50%						0 0%						104 32.5%		
<b>TOTAL</b>	<b>320 = 100%</b>														
FLUJO CON PROPUESTA															
Giros	0	10	1	35	3	167	0	0	0	0	0	0	14	16	51
<b>Total Carril</b>	216 71,52%						0 0%						86 28,4%		
<b>TOTAL</b>	<b>302 = 100%</b>														

A continuación se interpreta los datos obtenidos del volumen promedio en el sentido Sur-Norte, en los cuales se disminuyó en 18 vehículos lo que significa un 5,62% lo que demuestra que con el ciclo propuesto de 90 segundos la congestión disminuye y el flujo mejora.



**Figura 4-3:** Conteo de Vehículos en sentidos Sur-Norte (1b) y Sur-Oeste (2b).

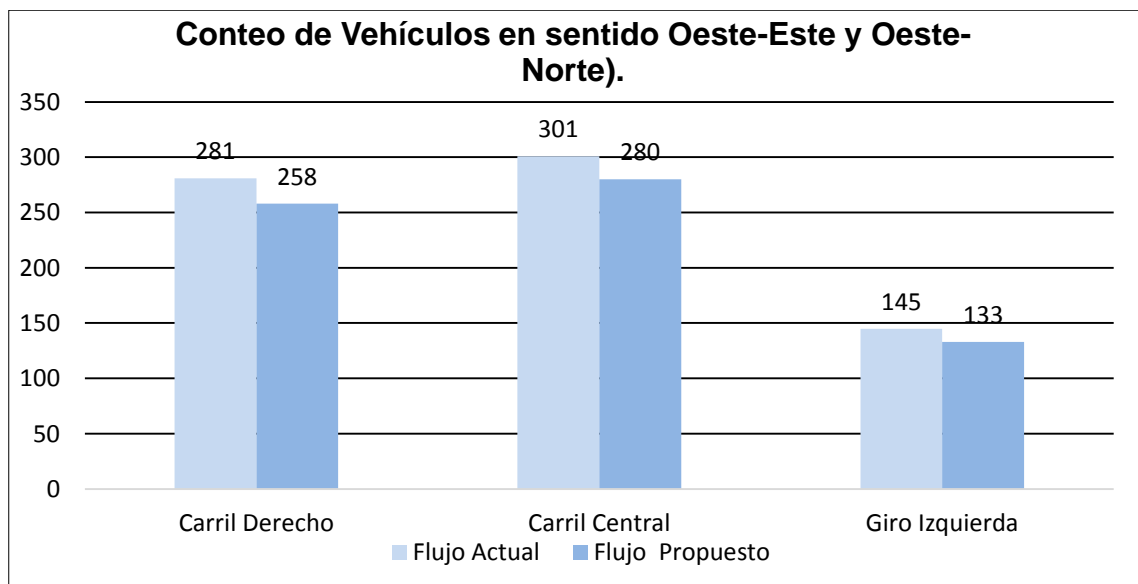
En la intersección de las avenidas Mariano Acosta y Jaime Rivadeneira se realiza la toma de datos con el ciclo propuesto de 90 segundos en varios días de la semana, en las principales horas pico del día, se determina el flujo vehicular idóneo hacia el sentido Sur-Norte y Sur-Oeste, con la disminución de 20 segundos dentro del ciclo, con un cambio de fases de 23 a 18 segundos en sentido Sur-Norte y de 17 a 9 segundos en sentido Sur-Oeste, también

disminuye el volumen dentro de la intersección y aumentar el paso de flujo vehicular, además de disminuir la demora y la cola generada en estos sentidos.

**Tabla 4-4:** Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentido Oeste-Este (3b) y Oeste-Norte (4b).

FLUJO ACTUAL															
Fase	3b												4b		
Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
Tipos de autos	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Giros	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	31	3	74	24	117	32	0	11	0	113	0	177	15	50	80
Total Carril	281 38.65%						301 41.40%						145 19.94%		
<b>TOTAL</b>	<b>727 = 100%</b>														
FLUJO CON PROPUESTA															
Giros	31	1	69	20	110	27	0	9	0	106	0	165	13	38	82
Total Carril	258 38,45%						280 41,72%						133 19,82%		
<b>TOTAL</b>	<b>671 = 100%</b>														

Siendo el sentido Oeste-Este el de mayor conflicto vehicular se puede apreciar que el volumen promedio disminuye en 56 vehículos lo que significa una reducción de 7,70%, de igual manera se puede observar que la congestión disminuye y el flujo mejora con el ciclo propuesto de 90 segundos.



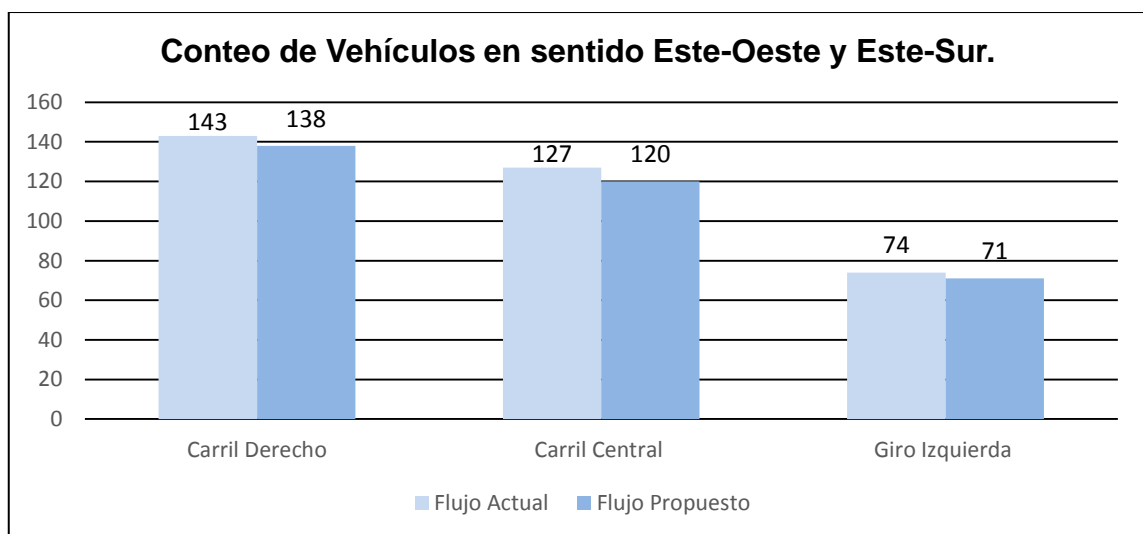
**Figura 4-4:** Conteo de Vehículos en sentido Oeste-Este y Oeste-Norte).

En esta avenida en la cual se crea un gran conflicto vehicular debido a la gran demanda de vehículos que circula en horas pico es factible aplicar el ciclo propuesto de 90 segundos, con un cambio de fases de 29 a 27 segundos en sentido Oeste-Este y de 17 a 12 segundos en sentido Oeste-Norte, donde se reduce el volumen vehicular en un 7,70%.

**Tabla 4-5:** Flujo Actual vs Flujo Propuesto en sentido Este-Oeste (3a) y Este-Sur (4a).

FLUJO ACTUAL															
Fase	3a												4a		
Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
Tipos de autos	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Giros	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	Giro Izq.		
	4	18	21	16	51	33	0	14	0	47	0	66	3	25	46
Total Carril	143 41.57%						127 36.91%						74 21.51%		
<b>TOTAL</b>	<b>344 = 100%</b>														
FLUJO CON PROPUESTA															
Giros	2	22	16	18	42	38	0	11	0	39	0	70	11	22	38
Total Carril	138 41,94%						120 36,47%						71 21,58%		
<b>TOTAL</b>	<b>329 = 100%</b>														

En el sentido Este-Oeste se puede apreciar que el volumen promedio disminuye en 15 vehículos lo que significa una reducción de 4,36%, de igual manera se puede determinar que la congestión disminuye y el flujo mejora con el ciclo propuesto de 90 segundos.

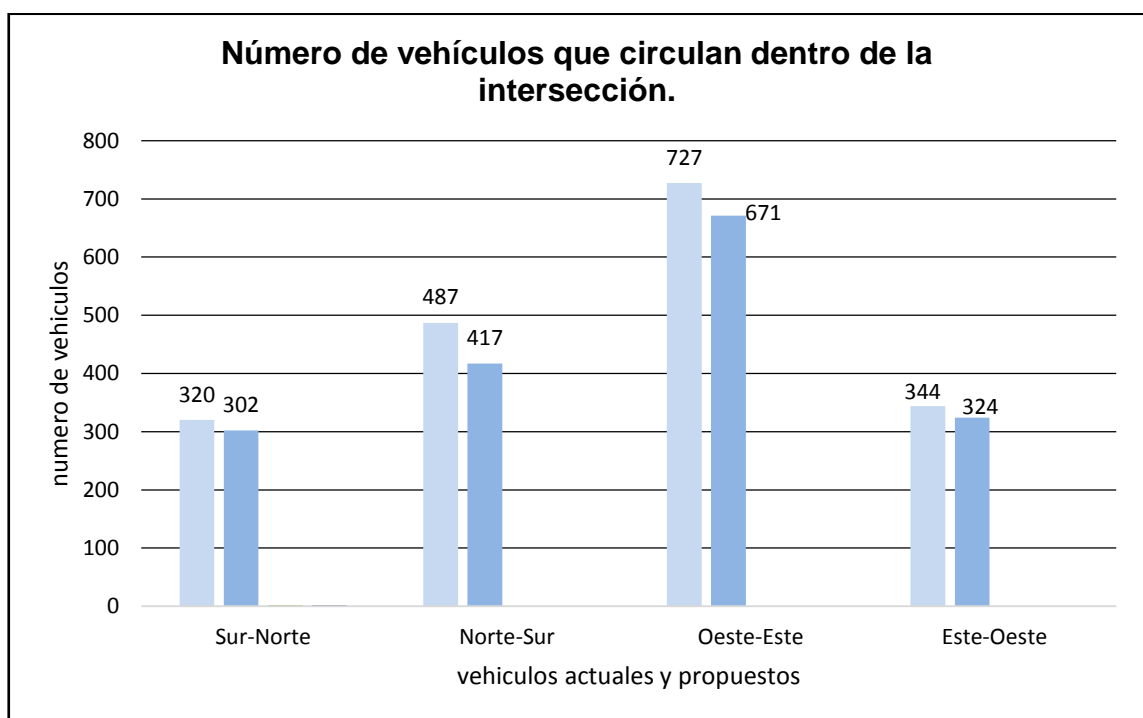


**Figura 4-5:** Cuento de Vehículos en sentido Este-Oeste y Este-Sur.



En este sentido se realiza la toma de datos con el ciclo propuesto de 90 segundos, con un cambio de fase de 29 a 27 segundos en sentido Este-Oeste y de 17 a 12 segundos en sentido Este-Sur, se llega a determinar una disminución del volumen vehicular en un 3.51%, generando igualmente una reducción en el tiempo de demora y un flujo vehicular aceptable.

En la siguiente gráfica se indica el número de vehículos que circulan en la intersección antes y después de la aplicación de la metodología, clasificándolos en sus diferentes sentidos por medio de los conteos manuales realizados anteriormente.



**Figura 4-6:** Número de vehículos dentro de la intersección.

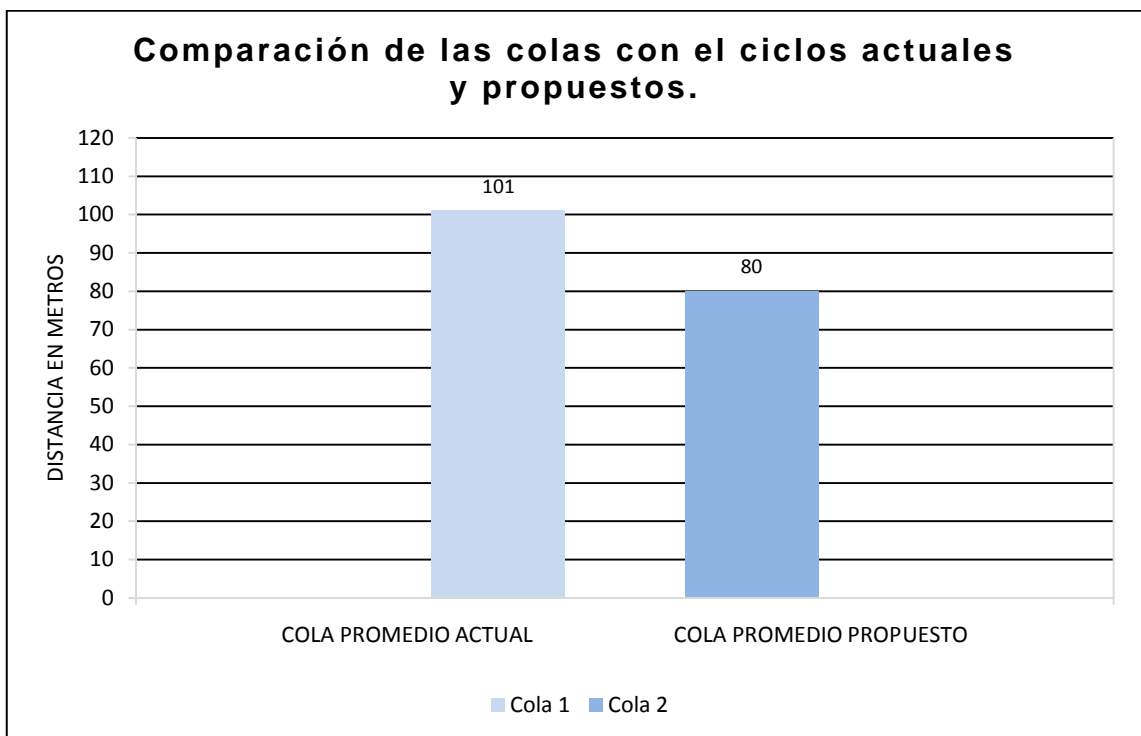
### 4.3 Análisis de colas.

Los siguientes valores se obtuvieron aplicando una teoría de colas por distancia, ubicando cada 10 metros un punto de referencia a lo largo de la avenidas Mariano Acosta y Jaime Rivadeneira, los cuales permitieron determinar la cola promedio de la intersección que generan los vehículos en cada carril en el ciclo de 110 y 90 segundos.

**Tabla 4-6:** Cola promedio de la intersección con el ciclo de 110 y 90 segundos.

Sentidos	Cola ciclo actual 110 seg (veh/ciclo).	Cola ciclo propuesto 90 seg (veh/ciclo).	Separación entre vehículos (m)
Norte-Sur	14	11	0,6
Sur-Norte	11	10	
Este-Oeste	16	13	
Oeste-Este	18	15	
<b>Promedio Total</b>	15	12	

En la siguiente gráfica se puede apreciar la reducción de la cola promedio de la intersección, a través de la aplicación de la metodología propuesta con respecto a la cola actual, donde se demuestra que con el ciclo de 90 segundos se reduce en un 20% la cola en la intersección, tomando en cuenta que el largo de un vehículo promedio es de 6,10m con una separación entre vehículos de 0,6m datos obtenidos de Cal Mayor, se disminuye de la misma manera el volumen vehicular dentro de la intersección, sin afectar el desempeño de la misma.



**Figura 4-7:** Análisis de colas con los ciclos actuales y propuestos

#### 4.4 Análisis de los niveles de servicio dentro de la intersección.

Los análisis de los niveles de servicio se determinaron principalmente a través del volumen vehicular existente en toda la intersección, se llega a determinar que con el ciclo propuesto de 90 segundo el nivel de servicio mejora de categoría al tipo E.

**Tabla 4-7:** Nivel de Servicio Actual y Propuesto.

Tiempos de espera actuales y propuestos para determinar los niveles de servicio dentro de la intersección.					
Ciclo 120 segundos			Ciclo 90 segundos		
Actual			Propuesto		
Sentido	Tiempo de espera (seg)	Nivel de servicio	Sentido	Tiempo de espera (seg)	Nivel de servicio
Norte-Sur	87	Tipo F	Norte-Sur	72	Tipo E
Norte-Este	93	Tipo F	Norte-Este	81	Tipo F
Oeste-Este	81	Tipo F	Oeste-Este	63	Tipo E
Oeste-Norte	93	Tipo F	Oeste-Norte	78	Tipo E

##### 4.4.1 Acceso Norte-Sur

En este acceso tiene un ciclo de 110 seg, con un verde efectivo de 23 seg y una demora por vehículo de 87 seg, a través del ciclo propuesto de 90 seg, se tiene un verde efectivo de 18 seg y una demora de 72 seg, dicha espera se disminuye en un 17,24%, mediante tabla 24 se puede determinar que el nivel de servicio para este acceso se reduce al tipo E.

##### 4.4.2 Acceso Norte-Este

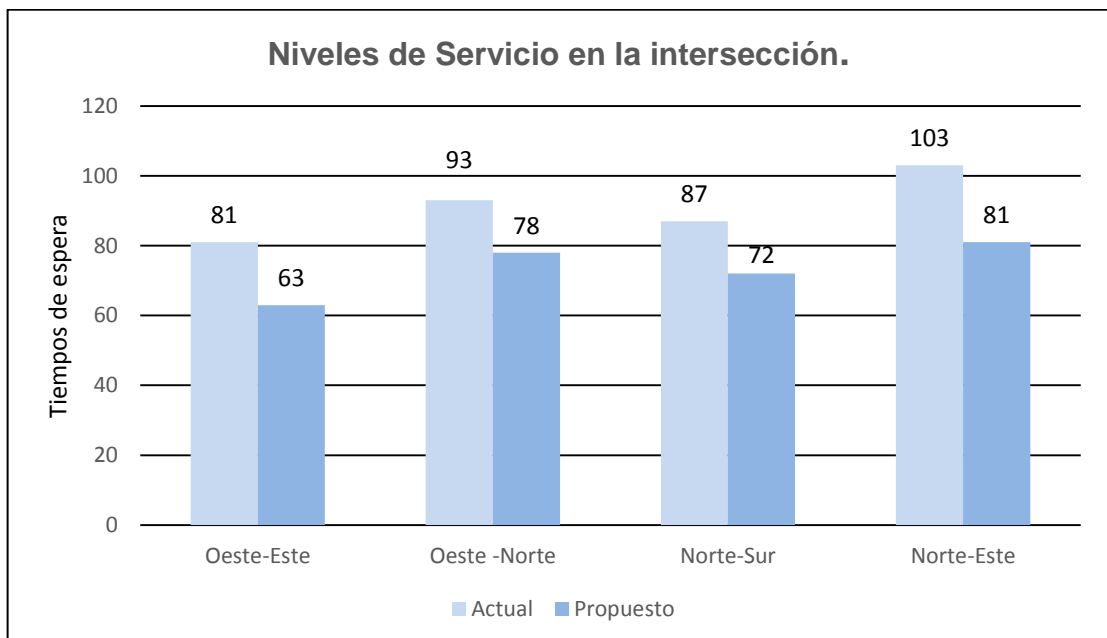
Este giro con un ciclo de 110 seg, genera un verde efectivo de 17 seg y una demora de 93 seg por vehículo, por lo contrario con el ciclo de 90 seg propuesto en la investigación, se tiene, un tiempo en verde efectivo de 9 seg, con una demora de 81 seg, por medio de estos valores, se observa que la demora se reduce en un 12,90%, el nivel de servicio no se puede disminuir ya que la demora por vehículo es mayor a 80 seg, tenemos un nivel tipo F.

#### 4.4.3 Acceso Oeste-Este

En la actualidad en este acceso se tiene un ciclo de 110 seg y un verde efectivo de 29 seg, es decir una demora por vehículo de 81 seg, mediante el ciclo propuesto de 90 seg, con un tiempo de verde de 27 seg y una demora de 63 seg, se logra una disminución del 22,22% en la espera por vehículo dentro de este acceso, de acuerdo con la tabla 24 citada en el capítulo anterior podemos determinar que el nivel de servicio para este acceso con el ciclo propuesto se reduce al tipo E.

#### 4.4.4 Acceso Oeste-Norte

Este giro hacia la izquierda actualmente tiene un ciclo de 110 seg, con un verde efectivo de 17 seg y una demora de 93 seg por vehículo, con los datos obtenidos en la propuesta se plantea un ciclo de 90 seg, con un verde efectivo de 12 seg y una demora de 78 seg, igualmente se llega a disminuir la demora en un 16,12% dentro de este giro, a través de la tabla 24 citada anteriormente se determina que el nivel de servicio para este giro con el ciclo propuesto se reduce al tipo E.



**Figura 4-8:** Niveles de servicio en la intersección.

## 4.5 Análisis del consumo de combustible y emisiones.

### 4.5.1 Análisis del consumo de combustible promedio en la intersección.

El análisis del consumo de combustible en la intersección de las avenidas Mariano Acosta y Jaime Rivadeneira, se efectúa por medio de la aplicación de la tabla 3-14, dónde se utiliza el número de vehículos en la cola, tiempo de espera, ciclos por hora, factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, consumo de combustible en ralentí de la tabla 3-13, la densidad de combustible (gasolina  $0,68 \text{ gr/cm}^3$  y diésel  $0,85 \text{ gr/cm}^3$ ) del libro (Young & Freedman, 2013), las horas tomadas en cuenta para el desarrollo de la metodología son de 14 horas (06:00 hasta 20:00) tiempo donde existe una gran demanda de vehículos en la intersección.

En la siguiente tabla se representa los factores de ajuste por presencia de vehículos pesados promedios dentro de la intersección, en cada uno de los sentidos con sus respectivos porcentajes.

**Tabla 4-8:** Promedio de factores de ajuste en toda la intersección.

Sentidos	Vehículos livianos %	Vehículos SUV %	Buses y camiones %
Norte-Sur	62,40	26,44	11,16
Sur-Norte	63,76	28,12	8,12
Este-Oeste	55,86	35,9	8,24
Oeste-Este	56,99	31,68	11,33
<b>PROMEDIO</b>	59,75	30,33	9,71

A continuación se representa los tiempos de espera del ciclo actual y el propuesto para obtener la disminución del tiempo de espera promedio en la intersección.

**Tabla 4-9:** Disminución del tiempo de espera promedio en la intersección.

Sentidos	Tiempo de espera con ciclo actual 110 seg (veh/ciclo).	Tiempo de espera con ciclo propuesto 90 seg (veh/ciclo).	Disminución del tiempo de espera en seg.
Norte-Sur	87	72	15
Sur-Norte	93	81	12
Este-Oeste	81	63	18
Oeste-Este	93	78	15
<b>Promedio Total</b>	88,5	73,5	15

En la siguiente tabla se expresa el número de vehículos equivalentes en toda la intersección, se clasifica según su tipo para determinar el consumo de combustible en ralentí promedio que generan cada uno de ellos.

Para el cálculo del consumo de combustible se toma en cuenta que el número de vehículos diarios que circulan dentro de la intersección tanto para el ciclo actual como el propuesto es el mismo, por lo que se utiliza la cola promedio, el ciclo actual y las horas de circulación de los vehículos en la intersección.

Cálculo de vehículos diarios:

$$15 \text{ vehiculos} * \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} * \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} = 6930 \text{ vehiculos}$$

**Tabla 4-10:** Número de vehículos equivalentes por factor de ajuste de cada tipo.

Vehículos al día	Tipo de vehículo	% factor ajuste	Total vehículos
6930	Liviano	59,75	4.141
	SUV	30,33	2.102
	Buses	9,71	673

A continuación se calculan los valores del consumo de combustible en ralentí para los diferentes tipos de vehículos que circulan por la intersección, estos valores son representados en galones al año.

**Cálculo del consumo del combustible promedio en ralentí para los vehículos livianos en la intersección.**

$$\frac{4.141 \text{ veh}}{\text{día}} \times \frac{15 \text{ seg.}}{\text{veh}} \times \frac{204 \text{ mlgr}}{\text{seg.}} = 12'671.460 \frac{\text{mgr.}}{\text{día}}$$

$$12'671.460 \frac{\text{mgr.}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mgr}} = 12.671,46 \frac{\text{gr.}}{\text{día}}$$

$$12.671,46 \frac{\text{gr.}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{0,68 \text{ gr}} = 18.634,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}}$$

$$18.634,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ cm}^3} = 4,92 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

$$4.92 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 1.797 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

En la ecuación anterior se realiza el análisis del consumo promedio de combustible en ralentí de vehículos livianos por sentido dentro de la intersección, donde se estima un ahorro de combustible promedio de 7.188 galones en toda la intersección al año.

***Cálculo del consumo del combustible promedio en ralentí para los vehículos SUV a gasolina en la intersección.***

$$\frac{2102 \text{ veh}}{\text{día}} \times \frac{15 \text{ seg.}}{\text{veh}} \times \frac{291 \text{ mgr}}{\text{seg.}} = 9'175.230 \frac{\text{mgr.}}{\text{día}}$$

$$9'175.230 \frac{\text{mgr.}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mgr}} = 9.175,23 \frac{\text{gr.}}{\text{día}}$$

$$9.175,23 \frac{\text{gr.}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{0,68 \text{ gr}} = 13.492,98 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}}$$

$$13.492,98 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ cm}^3} = 3,56 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

$$3,56 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 1.301 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

De acuerdo con los cálculos del consumo promedio de combustible en ralentí de vehículos SUV, se estima un ahorro de combustible promedio de 5.204 galones al año en toda la intersección.

***Cálculo del consumo del combustible promedio en ralentí para los vehículos a diésel (Buses) en la intersección.***

$$\frac{673 \text{ veh}}{\text{día}} \times \frac{15 \text{ seg.}}{\text{veh}} \times \frac{620 \text{ mgr}}{\text{seg.}} = 6'258.900 \frac{\text{mgr.}}{\text{día}}$$

$$6'258.900 \frac{\text{mgr.}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mgr}} = 6.258,9 \frac{\text{gr.}}{\text{día}}$$

$$6.258,9 \frac{gr.}{día} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{0,85 \text{ gr}} = 7.363,41 \frac{\text{cm}^3}{día}$$

$$7.363,41 \frac{\text{cm}^3}{día} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ cm}^3} = 1,95 \frac{\text{gal}}{día}$$

$$1,95 \frac{\text{gal}}{día} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 710 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

El análisis del consumo promedio de vehículos a diésel en toda la intersección genera un ahorro estimado de 2840 galones al año.

**Tabla 4-11:** Ahorro de combustible promedio en toda la intersección.

Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Ahorro del consumo (gal/año)	Total (gal/año)
Liviano	Gasolina	7.188	12.392
SUV	Gasolina	5.204	
Buses	Diésel	2.840	2.840

De la tabla anterior se puede estimar que el consumo de combustible promedio en ralentí de vehículos a gasolina (livianos y SUV) es de 12.392 galones al año, mientras el consumo de diésel en buses y camiones es de 2.840 galones al año., tomando en cuenta que el costo del galón de gasolina extra y súper es de 1,48\$ y 2,26\$ respectivamente, mientras que el de diésel es de 1,03\$ y que el 25% de la población utiliza gasolina súper, se estima que el ahorro de gasolina es 20.756\$ y diésel es de 2.925\$, aproximadamente se genera un ahorro de 23.681\$ en toda la intersección con la metodología propuesta.

#### 4.5.2 Análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> promedio de la intersección.

De la tabla 3-13 y con el consumo de combustible promedio obtenido de los tipos de vehículos que circulan en toda la intersección, se realiza una conversión de galones al año a toneladas de CO<sub>2</sub> a través de las siguientes ecuaciones.



**Cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> promedio en ralentí para los vehículos a gasolina en la intersección.**

$$12.392 \frac{\text{galones}}{\text{año}} \times \frac{3,78 \text{ litros}}{1 \text{ galón}} = 46.841,76 \frac{\text{litros}}{\text{año}}$$

$$46.841,76 \frac{\text{litros}}{\text{año}} \times \frac{2370 \text{ gr CO}_2}{1 \text{ litro}} = 111'014.971,2 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{año}}$$

$$111'014.971,2 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{10^6 \text{ gr}} = 111 \frac{\text{toneladas CO}_2}{\text{año}}$$

**Cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> promedio en ralentí para los vehículos a diésel en la intersección.**

$$2.840 \frac{\text{galones}}{\text{año}} \times \frac{3,78 \text{ litros}}{1 \text{ galón}} = 10.735,2 \frac{\text{litros}}{\text{año}}$$

$$10.735,2 \frac{\text{litros}}{\text{año}} \times \frac{2650 \text{ gr CO}_2}{1 \text{ litro}} = 28'448.280 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{año}}$$

$$28'448.280 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{10^6 \text{ gr}} = 28 \frac{\text{toneladas CO}_2}{\text{año}}$$

Con la metodología propuesta se evita una emisión promedio de 139 toneladas de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

**4.5.3 Análisis de las emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> en ralentí para los diferentes tipos de vehículos en la intersección.**

De la tabla 3-16 y con la disminución del tiempo de espera obtenido de la metodología, se realiza las siguientes operaciones para determinar los gramos de CO, NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> que se evitan propagar al día en la intersección por cada vehiculo.

### **Vehículos Livianos:**

$$0,020 \frac{\text{gramos CO}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,30 \frac{\text{gramos CO}}{\text{ciclo}}$$

$$0,30 \frac{\text{gramos CO}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 138,6 \frac{\text{gramos CO}}{\text{día}}$$

$$0,00098 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,0147 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{ciclo}}$$

$$0,0147 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 6,79 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{día}}$$

### **Vehículos SUV:**

$$0,0202 \frac{\text{gramos CO}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,303 \frac{\text{gramos CO}}{\text{ciclo}}$$

$$0,303 \frac{\text{gramos CO}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 139,986 \frac{\text{gramos CO}}{\text{día}}$$

$$0,0011 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,0165 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{ciclo}}$$

$$0,0165 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 7,62 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{día}}$$

### **Vehículos diésel (buses):**

$$0,0071 \frac{\text{gramos CO}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,1065 \frac{\text{gramos CO}}{\text{ciclo}}$$

$$0,1065 \frac{\text{gramos CO}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 49,203 \frac{\text{gramos CO}}{\text{día}}$$

$$0,0094 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,141 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{ciclo}}$$

$$0,141 \frac{\text{gramos NOx}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = \mathbf{65,142} \frac{\text{gramos NOx}}{\text{día}}$$

$$0,0033 \frac{\text{gramos PM}}{\text{segundos}} \times \frac{15 \text{ segundos}}{\text{ciclo}} = 0,0495 \frac{\text{gramos PM}}{\text{ciclo}}$$

$$0,0495 \frac{\text{gramos PM}}{\text{ciclo}} \times \frac{33 \text{ ciclos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = \mathbf{22,869} \frac{\text{gramos PM}}{\text{día}}$$

Con la metodología propuesta se evita una emisión estimada al medio ambiente de 328 gramos de CO, 80 gramos de NOx y 23 gramos de PM diarios dentro de la intersección.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

- Con la metodología propuesta de 90 segundos para la intersección de las Avenidas Mariano Acosta y Jaime Rivadeneira, se pudo apreciar una mejora con respecto a la situación real de movilidad dentro de esta, disminuyendo el tiempo de espera, la cola, los niveles de servicio y el volumen vehicular.
- El tiempo de espera promedio dentro de la intersección se redujo en un 17%, generado un flujo de vehículos idóneo para los conductores, por la disminución de la demora, evitando el aumento del estrés ocasionado por la congestión de vehículos en las principales horas pico.
- Por medio de la reducción de la cola se logra un beneficio ambiental, gracias a que el flujo de vehículos es continuo y además no producirá demoras excesivas, generando una mejora en la calidad del aire al reducir los gases tóxicos producidos por el transporte público y privado.
- El nivel de servicio dentro de la intersección mejoró con la metodología propuesta del tipo F (donde el flujo de llegada excede la capacidad de los acceso de la intersección ocasionados por ciclos muy largos) al tipo E (considerado con el límite de demoras, causadas por progresiones pobres).
- El ahorro del consumo de combustible dentro de la intersección con la metodología propuesta se estima es de 15.232 galones al año, generando un ahorro monetario para el GAD Ibarra y el gobierno del Ecuador en un estimado de 23.681\$ anuales dentro de la intersección en todos sus sentidos y se evita 139 toneladas de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

## 5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda que en las intersecciones de alto flujo vehicular, se instalen señalizaciones verticales visibles al momento de llegar a un semáforo, prohibiendo el giro en U.
- Par un conteo vehicular preciso se recomienda utilizar herramientas manuales y talento humano con buena observación, mas no los sensores ubicados en los semáforos, para prevenir fallas en los conteos por la obstrucción visual que generan los vehículos pesados principalmente buses y camiones las cámaras instaladas dentro de la intersección.
- El diseño del refugio vehicular para el giro a la izquierda debe ser lo suficientemente ancho para no obstruir el paso de los vehículos que circulan en los diferentes carriles.
- Esta metodología se debe realizar anualmente debido al aumento del parque automotor y el mantenimiento recomendado a los semáforos, mediante conteos nuevos del flujo vehicular y ciclos óptimos dentro de las intersecciones para un mejor desempeño vial de la ciudad.
- Para obtener el ahorro del consumo de combustible y las emisiones de gases en ralentí se recomienda utilizar fuentes de artículos científicos los cuales garantizan los valores reales y precisos para el desarrollo de la investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

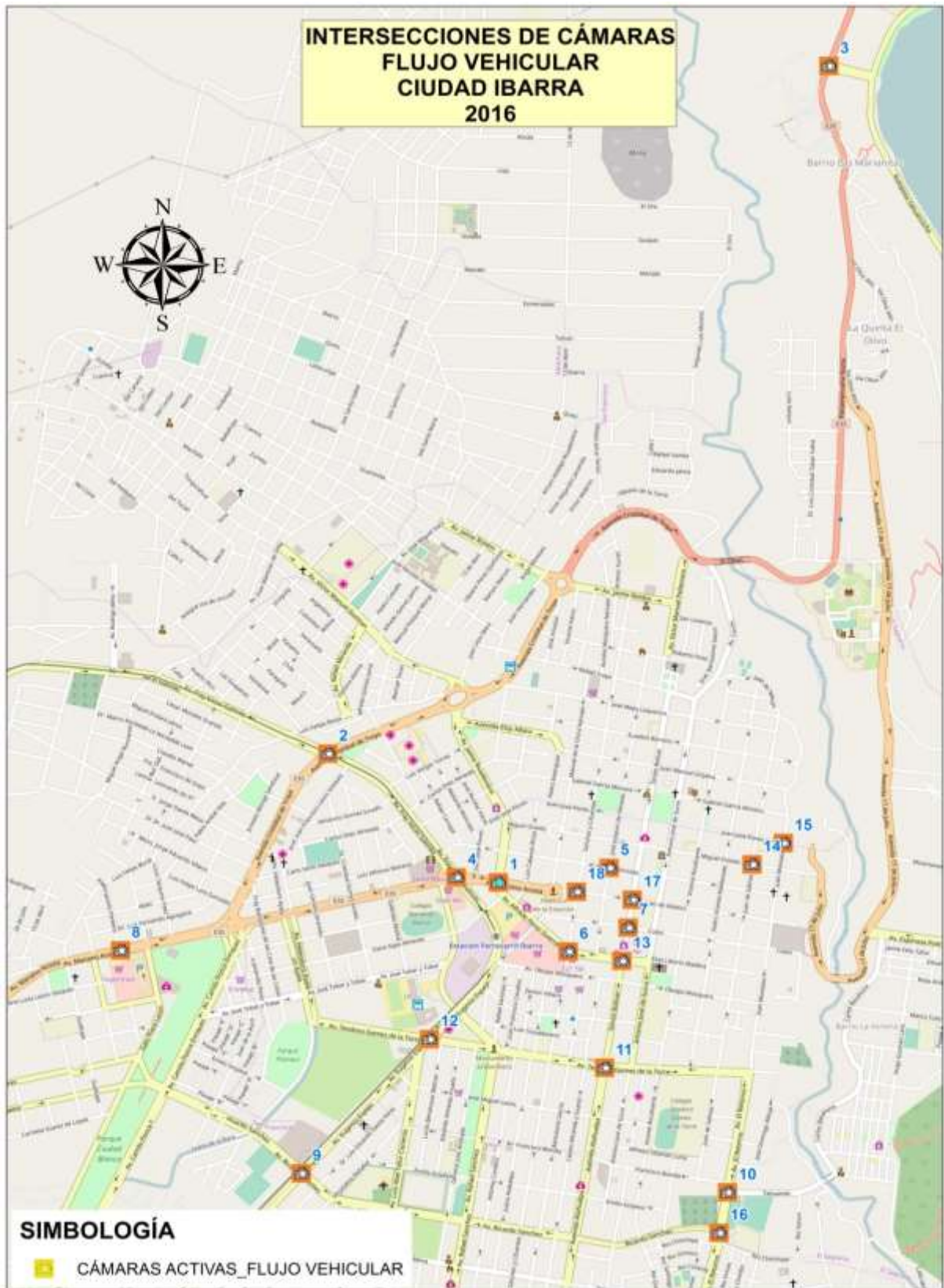
1. AGUILERA, R. F. (2014). *TEMAS DE INGENIERÍA Y GESTION DE TRÁNSITO*. Santiago: RIL editores.
2. Bo Yang, R. Z. (2016). Evaluation of the effects of in-vehicle traffic. *IET Intelligent Transport Systems*.
3. Cal, R., Mayor, R., & Cardenas, J. (2007). *Ingenieria de Transito*. Mexico D.F.: Alfaomega.
4. Castañeda, M. (2013). Ingeniería del Tránsito y Transporte. *Academia*, Pag. 27.
5. EPA, A. d. (2008). Emission Facts. *Oficina de Transporte y Calidad del Aire*, 1-6.
6. Estuardo, C. B. (2012). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
7. FERNÁNDEZ, R. (2008). *Elementos de la teoría de flujos vehiculaes*. Santiago: Lom ediciones.
8. Fernandez, Y. A., & rogiguez, G. (2013). *CALCULOS DE LOS TIEMPOS DE SEMAFORIZACIÓN DE UNA INTERSECCION SEMAFORIZADA*. Barranquilla: Universidad de la costa.
9. Frances Sprei, S. K. (2008). Better performance or lower fuel consumption. *Elsevier.*, 75 - 85.
10. Fredy A. Rosero Obando, C. E. (2017). Análisis del consumo de combustible en autobuses urbanos por efecto de las intersecciones semaforizadas, caso de estudio ciudad de Ibarra. *Delos.*, 1 - 20.
11. GmbH, R. B. (2005). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Alemania: Karl-Heinz Dietsche.
12. H.Christopher Frey, N. M. (2007). Comparing real-world fuel consumption for diesel- and hydrogen-fueled transit buses. *Elsevier*, 283 - 288.
- 13 IDAE, I. P. (2016). *Manual de conduccion eficiente*. Sevilla: Andaluz.
14. INEC. (2013). *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS. ECUADOR: INEC*.
15. INEN, I. E. (2012). *SEÑALIZACIÓN VIAL, PARTE 5, SEMAFORIZACIÓN*. Quito: INEN.

16. Jerez Hernandez, A. G., & Morales Santos, O. E. (2015). *Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azogues*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
17. Manual, H. C. (2000). *transportation Research Board*. Washington: National Research Council.
18. MEP. (2016). *UBICACION SEMAFÓRICA CIUDAD BLANCA. CANTON IBARRA: MEP (EMPRESA PÚBLICA DE MOVILIDAD)*.
19. Norte, D. e. (01 de Marzo de 2013). Instalan semaforos inteligentes en 132 intersecciones en Ibarra. *EL NORTE DIARIO REGIONAL INDEPENDIENTE*.
20. Rita Peñabaena, V. C. (2015). Impact of transition between signal timing plans in social cost. *Transportation Research*, 445 - 456.
21. Saaty, T. (1967). *Elemento de la teoria de Colas* . España: Aguilar .
22. Sempertelli, J. F. (2012). *SISTESIS DE INTERSECCIONES, SEÑALIZACION Y SEMÁFOROS. CUENCA*.
23. Wing-Tat Hung, H.-Y. T.-S. (2005). A Modal Approach to Vehicular Emissions and Fuel. *Air & Waste Management Association.*, 1431 - 1440.
24. Young, H. D., & Freedman, R. A. (2013). *FÍSICA UNIVERSITARIA. MÉXICO: PEARSON*.

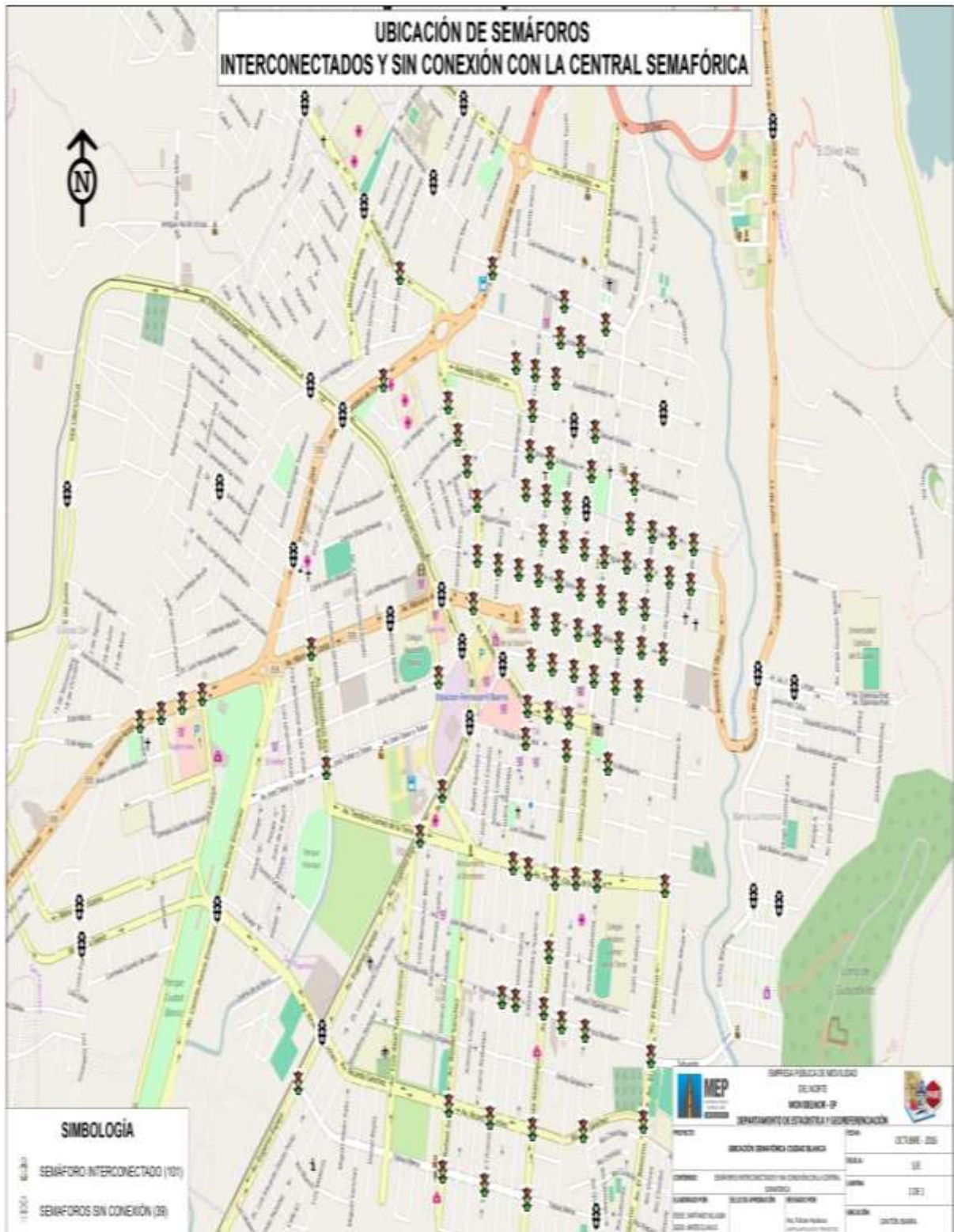
# ANEXOS



**Anexo 1: Intersecciones de la ciudad de Ibarra.**



Anexo 2: Semáforos en la ciudad de Ibarra.



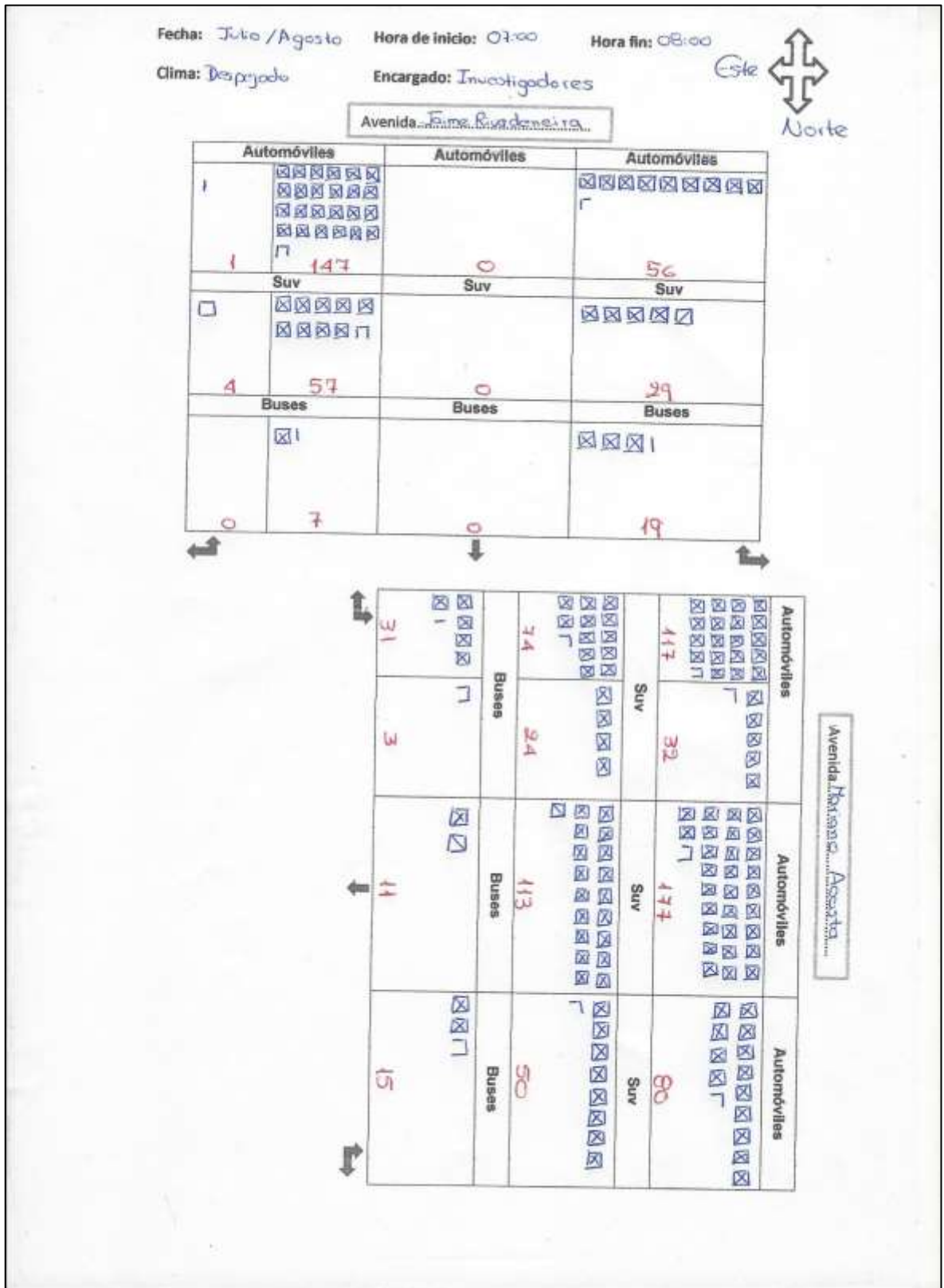




Anexo 4: Conteo de vehículos empresa pública de movilidad.

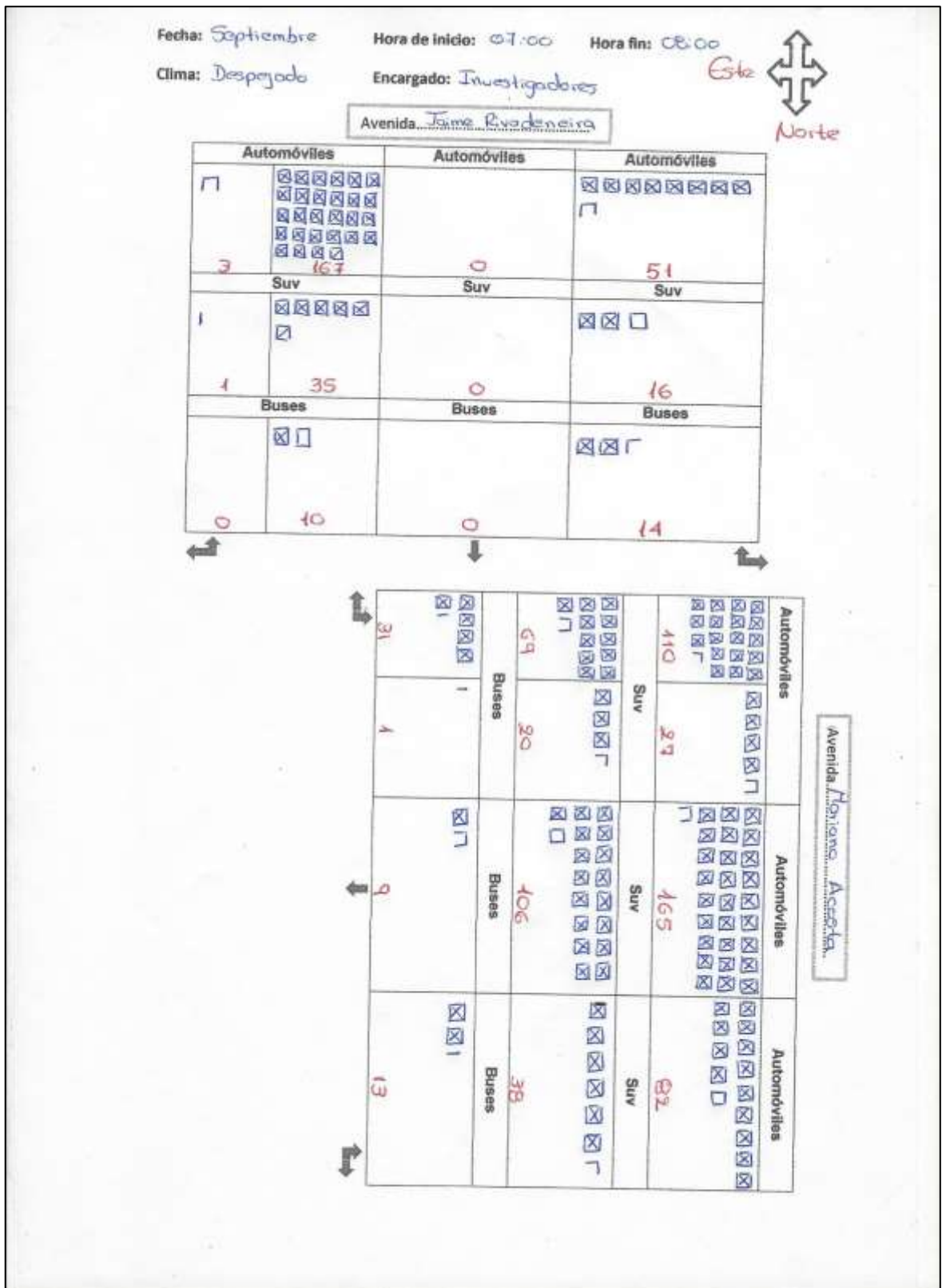
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
699	30/07/2016 00:00	153				30/07/2016 00:00	137				30/07/2016 00:00	113				30/07/2016 00:00	30			
700	30/07/2016 01:00	106				30/07/2016 01:00	105				30/07/2016 01:00	82				30/07/2016 01:00	63			
701	30/07/2016 02:00	89	569			30/07/2016 02:00	53	432			30/07/2016 02:00	86	480			30/07/2016 02:00	75	336		
702	30/07/2016 03:00	73				30/07/2016 03:00	46				30/07/2016 03:00	74				30/07/2016 03:00	27			
703	30/07/2016 04:00	58				30/07/2016 04:00	48				30/07/2016 04:00	44				30/07/2016 04:00	38			
704	30/07/2016 05:00	66				30/07/2016 05:00	43				30/07/2016 05:00	61				30/07/2016 05:00	39			
705	30/07/2016 06:00	271				30/07/2016 06:00	72				30/07/2016 06:00	132				30/07/2016 06:00	168			
706	30/07/2016 07:00	338	1054			30/07/2016 07:00	172	489			30/07/2016 07:00	274	803			30/07/2016 07:00	252	816		
707	30/07/2016 08:00	505				30/07/2016 08:00	245				30/07/2016 08:00	397				30/07/2016 08:00	355			
708	30/07/2016 09:00	565				30/07/2016 09:00	361				30/07/2016 09:00	506				30/07/2016 09:00	519	1469		
709	30/07/2016 10:00	648	1869			30/07/2016 10:00	454	1311			30/07/2016 10:00	597	1757			30/07/2016 10:00	454			
710	30/07/2016 11:00	656				30/07/2016 11:00	496				30/07/2016 11:00	664				30/07/2016 11:00	496	6860		3903
711	30/07/2016 12:00	555				30/07/2016 12:00	566				30/07/2016 12:00	674				30/07/2016 12:00	547			
712	30/07/2016 13:00	615	1672			30/07/2016 13:00	571	1476			30/07/2016 13:00	615	1830			30/07/2016 13:00	508	1454		
713	30/07/2016 14:00	502				30/07/2016 14:00	399				30/07/2016 14:00	601				30/07/2016 14:00	405			
714	30/07/2016 15:00	547	547			30/07/2016 15:00	394	394			30/07/2016 15:00	530	530			30/07/2016 15:00	432	432		
715	30/07/2016 16:00	534				30/07/2016 16:00	436				30/07/2016 16:00	555				30/07/2016 16:00	431			
716	30/07/2016 17:00	520	2006			30/07/2016 17:00	419	1555			30/07/2016 17:00	615	2105			30/07/2016 17:00	422	1634		
717	30/07/2016 18:00	505				30/07/2016 18:00	399				30/07/2016 18:00	549				30/07/2016 18:00	436			
718	30/07/2016 19:00	447				30/07/2016 19:00	302				30/07/2016 19:00	408				30/07/2016 19:00	285			
719	30/07/2016 20:00	365				30/07/2016 20:00	262				30/07/2016 20:00	288				30/07/2016 20:00	203			
720	30/07/2016 21:00	260	1078			30/07/2016 21:00	245	859			30/07/2016 21:00	201	771			30/07/2016 21:00	226	720		
721	30/07/2016 22:00	264				30/07/2016 22:00	200				30/07/2016 22:00	169				30/07/2016 22:00	182			
722	30/07/2016 23:00	169				30/07/2016 23:00	151				30/07/2016 23:00	113				30/07/2016 23:00	99			
723	30/07/2016 00:00	100				30/07/2016 00:00	87				30/07/2016 00:00	80				30/07/2016 00:00	65			
724	30/07/2016 01:00	141				30/07/2016 01:00	101				30/07/2016 01:00	96				30/07/2016 01:00	53			
725	30/07/2016 02:00	88	532			30/07/2016 02:00	76	445			30/07/2016 02:00	100	436			30/07/2016 02:00	42	289		
726	30/07/2016 03:00	110				30/07/2016 03:00	66				30/07/2016 03:00	75				30/07/2016 03:00	49			
727	30/07/2016 04:00	91				30/07/2016 04:00	72				30/07/2016 04:00	92				30/07/2016 04:00	44			
728	30/07/2016 05:00	62				30/07/2016 05:00	43				30/07/2016 05:00	53				30/07/2016 05:00	26			
729	30/07/2016 06:00	74				30/07/2016 06:00	44				30/07/2016 06:00	54				30/07/2016 06:00	39			
730	30/07/2016 07:00	142	461			30/07/2016 07:00	52	223			30/07/2016 07:00	116	372			30/07/2016 07:00	78	321		
731	30/07/2016 08:00	245				30/07/2016 08:00	127				30/07/2016 08:00	202				30/07/2016 08:00	204			
732	30/07/2016 09:00	353	1170			30/07/2016 09:00	160	646			30/07/2016 09:00	283	1055			30/07/2016 09:00	250	830		
733	30/07/2016 10:00	381				30/07/2016 10:00	195				30/07/2016 10:00	343				30/07/2016 10:00	254			
734	30/07/2016 11:00	436	6356			30/07/2016 11:00	291				30/07/2016 11:00	469				30/07/2016 11:00	326	4672		2590
735	30/07/2016 12:00	500				30/07/2016 12:00	346				30/07/2016 12:00	571				30/07/2016 12:00	388			

**Anexo 5:** Conteo de datos promedio ciclo de 110 segundos.





**Anexo 6:** Conteo de datos promedio con el ciclo de 90 segundos.



Fecha: Septiembre

Hora de inicio: 07:00

Hora fin: 08:00

Clima: Despejado

Encargado: Investigadores



Avenida Mariano Acosta

Automóviles		Suv		Buses	
42	38	70	38	16	18
Automóviles		Suv		Buses	
2	22	11	11	2	22

Buses		Suv		Automóviles	
4	22	27	3	19	58
Buses		Suv		Automóviles	
35	109	72	39	35	109

Avenida Jaime Rivadeneira



**Anexo 7:** Listado de cámaras semafóricas de la ciudad de Ibarra.

1	PM 1001 - Cruce 1030 - PANAMERICANA-YAHUARCOCHA - Norte
2	PM 1002 - Cruce 1030 - PANAMERICANA-YAHUARCOCHA - Este
3	PM 1003 - Cruce 1030 - PANAMERICANA-YAHUARCOCHA - Sur
4	PM 1004 - Cruce 1240 - C. DE TROYA - F. VACAS G.-ACC. NORTE
5	PM 1005 - Cruce 1240 - F. VACAS G. - C. DE TROYA-ACC. ESTE
6	PM 1006 - Cruce 1240 - C. DE TROYA - F. VACAS G.-ACC. SUR
7	PM 1007 - Cruce 1240 - F. VACAS G. - C. DE TROYA-ACC. OESTE
8	PM 2001 - Cruce 2091 - ACOSTA-RIVADENEIRA - Norte
9	PM 2002 - Cruce 2091 - ACOSTA-RIVADENEIRA - Este
10	PM 2003 - Cruce 2091 - ACOSTA-RIVADENEIRA - Sur
11	PM 2004 - Cruce 2091 - ACOSTA-RIVADENEIRA - Oeste
12	PM 2005 - Cruce 2120 - OLMEDO-MONCAYO - Norte
13	PM 2006 - Cruce 2120 - OLMEDO-MONCAYO - Este
14	PM 2007 - Cruce 2280 - ACOSTA-FRAY VACAS - Norte
15	PM 2008 - Cruce 2280 - ACOSTA-FRAY VACAS - Este
16	PM 2009 - Cruce 2280 - ACOSTA-FRAY VACAS - Sur
17	PM 2010 - Cruce 2280 - ACOSTA-FRAY VACAS - Oeste
18	PM 2011 - Cruce 2211 - C. COLON - S. BOLIVAR-ACC. ESTE
19	PM 3001 - Cruce 3010 - SANCHEZYCIFUENTES-GUERRERO - Este
20	PM 3002 - Cruce 3021 - SANCHEZYCIFUENTES-GUERRERO - Sur
21	PM 3003 - Cruce 3021 - SANCHEZYCIFUENTES-GUERRERO - Oeste
22	PM 3004 - Cruce 3070 - ACOSTA-SUPERMAXI - Este
23	PM 3005 - Cruce 3080 - ACOSTA-LA PLAZA - Este
24	PM 3006 - Cruce 3080 - ACOSTA-LA PLAZA no comunica- Sur
25	PM 3007 - Cruce 3080 - ACOSTA-LA PLAZA - Oeste
26	PM 3008 - Cruce 3200 - E. ESPEJO - R. SANCHEZ-ACC. NORTE
27	PM 3009 - Cruce 3200 - R. SANCHEZ - E. ESPEJO-ACC. ESTE
28	PM 3010 - Cruce 3200 - E. ESPEJO - R. SANCHEZ-ACC. SUR
29	PM 3011 - Cruce 3200 - R. SANCHEZ - E. ESPEJO-ACC. OESTE
30	PM 3012 - Cruce 3150 - EL RETORNO - R. TAHUANDO-ACC.NORTE
31	PM 3013 - Cruce 3150 - EL RETORNO - R. TAHUANDO-ACC.ESTE
32	PM 3014 - Cruce 3150 - EL RETORNO - R. TAHUANDO-ACC.SUR
33	PM 3015 - Cruce 3111 - T. GOMEZ - ATAHUALPA-ACC. ESTE
34	PM 3016 - Cruce 3111 - ATAHUALPA - T. GOMEZ-ACC. SUR
35	PM 3017 - Cruce 3111 - T. GOMEZ - ATAHUALPA-ACC. OESTE
36	PM 3018 - Cruce 3050 - E. ESPEJO - T. GOMEZ-ACC. NORTE
37	PM 3019 - Cruce 3050 - T. GOMEZ - E. ESPEJO-ACC ESTE
38	PM 3020 - Cruce 3050 - E. ESPEJO - T. GOMEZ-ACC SUR
39	PM 3021 - Cruce 3050 - T. GOMEZ - E. ESPEJO-ACC OESTE
40	PM 3022 - Cruce 3011 - P. GUERRERO - S. BOLIVAR-ACC. ESTE
41	PM 3023 - Cruce 3011 - S. BOLIVAR - P. GUERRERO-ACC. SUR
42	PM 3024 - Cruce 3011 - P. GUERRERO - S. BOLIVAR-ACC. OESTE

43	PM 4005 - Cruce 4030 – MIGUEL Oviedo – Juan de Salinas ACC. Oeste
44	PM 4006 - Cruce 4030 – juan jose flores – calle juan Montalvo acceso Este
45	PM 4007 - Cruce 4030 - ATAHUALPA - R. SANCHEZ-ACC. SUR (REUBICACIÓN)
46	PM 4008 - Cruce 4030 - R. SANCHEZ - ATAHUALPA-ACC. OESTE (REUBICACIÓN)

**Anexo 8:** Listado de estado de cruces.

<b>INTERSECCIÓN</b>	<b>ESTADO</b>
1. PANAMERICANA NORTE - C./ PURUHANTA	Cámara COMUNICA
2. PANAMERICANA NORTE - C./ MOJANDA	Cámara COMUNICA
3. PANAMERICANA - INGRESO LAGUNA YAHUARCOCHA	Cámara COMUNICA
4. C./ 13 DE ABRIL - AV. VÍCTOR GUZMÁN	COMUNICA
5. AV. CRISTÓBAL DE TROYA - AV. TROYA	COMUNICA
6. SÁNCHEZ CIFUENTES - TROYA	COMUNICA
7. SÁNCHEZ CIFUENTES - MEJÍA	COMUNICA
8. C./ TROYA - CARRERA BOLÍVAR	COMUNICA
9. OLMEDO - MEJÍA	COMUNICA
10. C./BORRERO - SÁNCHEZ Y CIFUENTES	COMUNICA
11. C./BORRERO – CHICA NARVÁEZ	COMUNICA
12. C./BORRERO - RODRÍGUEZ	COMUNICA
13. AV. CRISTÓBAL DE TROYA-LUIS G. GÓMEZ JURAD	COMUNICA
14. J. RIVADENEIRA - LUIS TORRES	COMUNICA
15. J. RIVADENEIRA - C.E. ALMEIDA	COMUNICA
16. GARCÍA. MORENO - S. CIFUENTES	COMUNICA
17. GARCÍA MORENO - CHICA NARVÁEZ	COMUNICA
18. Simón BOLÍVAR - GRIJALVA	COMUNICA
19. Simón BOLÍVAR - GARCÍA. MORENO	COMUNICA
20. CHICA NARVÁEZ - GRIJALVA	COMUNICA
21. C./FLORES – juan SALINAS	COMUNICA
22. C./FLORES - JUAN MONTALVO	COMUNICA
23. ROCAFUERTE - GARCÍA MORENO	COMUNICA
24. ROCAFUERTE - JUAN J. FLORES	COMUNICA
25. JUAN J. FLORES - MALDONADO	COMUNICA
26. JUAN J. FLORES - OLMEDO	COMUNICA
27. JUAN J. FLORES - SÁNCHEZ Y CIFUENTES	COMUNICA
28. JUAN J. FLORES - CHICA NARVÁEZ	COMUNICA
29. JAIME RIVADENEIRA - JUAN De NAVAS	COMUNICA
30. JAIME RIVADENEIRA - FLORES	COMUNICA
31. HELEODORO AYALA - MARIANO ACOSTA	COMUNICA
32. JAIME RIVADENEIRA - P. MONCAYO	COMUNICA
33. JAIME RIVADENEIRA - MARIANO COSTA	Cámara COMUNICA
34. P. MONCAYO - CHICA NARVÁEZ	COMUNICA
35. P. MONCAYO - LUIS CABEZAS BORJA	COMUNICA
36. OVIEDO - OLMEDO	COMUNICA
37. OVIEDO - SÁNCHEZ Y CIFUENTES	Cámara COMUNICA
38. P. MONCAYO - JOSÉ J. OLMEDO	COMUNICA
39. P. MONCAYO - SÁNCHEZ Y CIFUENTES	COMUNICA
40. SIMÓN BOLÍVAR - MIGUEL OVIEDO	COMUNICA
41. SIMÓN BOLÍVAR - P. MONCAYO	COMUNICA
42. ANTONIO J. DE SUCRE - MIGUEL OVIEDO	COMUNICA
43. ANTONIO J. DE SUCRE -PEDRO MONCAYO	COMUNICA
44. MIGUEL OVIEDO - ROCAFUERTE	COMUNICA

45. MIGUEL OVIEDO - MALDONADO	COMUNICA
46. MIGUEL OVIEDO - SALINAS	COMUNICA
47. MIGUEL OVIEDO - JUAN MONTALVO	Cámara COMUNICA
48. P. MONCAYO - ROCAFUERTE	COMUNICA
49. P. MONCAYO - MALDONADO	COMUNICA
50. VELASCO - ROCAFUERTE	COMUNICA
51. VELASCO - MALDONADO	COMUNICA
52. VELASCO - SALINAS	COMUNICA
53. ANTONIO J. DE SUCRE - VELASCO	COMUNICA
54. ANTONIO J. DE SUCRE - COLON	COMUNICA
55. SIMÓN BOLÍVAR - VELASCO	COMUNICA
56. SIMÓN BOLÍVAR – CRISTÓBAL COLON	COMUNICA
57. VELASCO – José. OLMEDO	COMUNICA
58. VELASCO - SÁNCHEZ Y CIFUENTES	COMUNICA
59. DARÍO EGAS - PASQUEL MONGUE	COMUNICA
60. CRISTÓBAL COLON - JOSÉ OLMEDO	COMUNICA
61. SÁNCHEZ Y CIFUENTES - CRISTÓBAL COLON	COMUNICA
62. CRISTÓBAL COLON - ROCAFUERTE	COMUNICA
63. CRISTÓBAL COLON - MALDONADO	COMUNICA
64. A. PÉREZ GUERRERO - OLMEDO	Cámara COMUNICA
65. A. PÉREZ GUERRERO - S. BOLÍVAR	Cámara COMUNICA
66. SÁNCHEZ Y CIFUENTES - OBPO. MOSQUERA	COMUNICA
67. S. Y CIFUENTES - PÉREZ GUERRERO	COMUNICA
68. OBPO. MOSQUERA - A. J. DE SUCRE	COMUNICA
69. OBPO. MOSQUERA - ROCAFUERTE	COMUNICA
70. AV. ESPEJO-R. SÁNCHEZ-OBPO.A. PASQUEL M.	COMUNICA
71. AV. ESPEJO - AV. TEODORO GÓMEZ	COMUNICA
72. ING. HELEODORO AYALA - JOSÉ TOBAR Y TOBAR	COMUNICA
73. MARIANO ACOSTA- J. PANKERY-V. GÓMEZ JURADO	COMUNICA
74. MARIANO ACOSTA - V. GÓMEZ JURADO	COMUNICA
75. MARIANO ACOSTA - GUALLUPE	COMUNICA
76. MARIANO ACOSTA - J. I. CANELOS	COMUNICA
77. TEODORO GÓMEZ - S. Y CIFUENTES	COMUNICA
78. TEODORO GÓMEZ - B. GARCÍA	COMUNICA
79. TEODORO GÓMEZ - SUCRE	COMUNICA
80. TEODORO GÓMEZ - ATAHUALPA	Cámara COMUNICA
81. AV. TEODORO GÓMEZ - ROCAFUERTE	COMUNICA
82. AV. TEODORO Gómez -J.D. ALBUJA-EL RETORNO	COMUNICA
83. AV. EL RETORNO -RIO TAHUANDO-J. FRANCISCO BONILLA	COMUNICA
84. JUAN F. BONILLA - SUCRE	COMUNICA
85. JUAN F. BONILLA - ROCAFUERTE	COMUNICA
86. JUAN F. BONILLA - S. Y CIFUENTES	COMUNICA
87. JUAN F. BONILLA - B. GARCÍA	COMUNICA
88. ESPEJO - OBISPO PASQUEL MONJE	COMUNICA
89. AV. EUGENIO ESPEJO - CALLE TOBÍAS MENA	COMUNICA
90. AV. ATAHUALPA - JUAN F. BONILLA	COMUNICA
91. PERIFÉRICO SUR - PANAMERICANA	COMUNICA

92. AV. EL RETORNO - AV. RICARDO SÁNCHEZ	COMUNICA
93. AV. ATAHUALPA CON JOSÉ LEORO	DAÑO DE CPU
94. AV. ATAHUALPA - AV. RICARDO SÁNCHEZ	COMUNICA
95. AV. ATAHUALPA - TOBÍAS MENA	COMUNICA
96. CHICA NARVÁEZ - GRIJALVA	COMUNICA
97. SÁNCHEZ Y CIFUENTES - RICARDO SÁNCHEZ	COMUNICA
98. SÁNCHEZ Y CIFUENTES - TOBÍAS MENA	COMUNICA
99. AV. RAFAEL SÁNCHEZ - AV. RICARDO SÁNCHEZ	COMUNICA
100. AV. RAFAEL SÁNCHEZ - TOBÍAS MENA	COMUNICA
101. AV. RICARDO SÁNCHEZ - RIO QUININDE	COMUNICA
102. AV. EL RETORNO - HERNÁN GONZÁLEZ	COMUNICA
<b>TOTAL</b>	<b>102</b>

**Anexo 9: Cruces que no comunican.**

INTERSECCIÓN	ESTADO
1. PANAMERICANA NORTE - C/ LUIS MADERA	NO COMUNICA
2. C./ 13 DE ABRIL - C./ AMBATO	NO COMUNICA
3. MARTÍNEZ DE ORBE-GUARANDA - I. S. SALVADOR	NO COMUNICA
4. C./ GUARANDA - ISLA SANTA ISABEL	NO COMUNICA
5. C./ MACHALA - C./ PUYO	NO COMUNICA
6. J. MARTÍNEZ DE ORBE - AV. VÍCTOR GUZMÁN	NO COMUNICA
7. JAIME ROLDOS AGUILERA - 13 DE ABRIL	NO COMUNICA
8. VÍCTOR MANUEL GUZMÁN - JOSÉ MIGUEL VACA	NO COMUNICA
9. AV. 17 DE JULIO - DR. JOSÉ MARÍA CÓRDOBA	NO COMUNICA
10. OLMEDO – GRIJALVA	NO COMUNICA
11. MALDONADO – BORRERO	NO COMUNICA
12. 13 DE ABRIL - JOSÉ HIDALGO	NO COMUNICA
13. 13 DE ABRIL – QUITO	NO COMUNICA
14. C./Bolívar - C./FLORES	NO COMUNICA
15. CRISTÓBAL DE TROYA - JORGE DÁVILA MEZA	NO COMUNICA
16. AURELIO Gómez JURADO - JORGE DÁVILA MEZA	NO COMUNICA
17. AV. PADRE A. ESPINOZA - 17 DE JULIO	NO COMUNICA
18. AV. PADRE A. ESPINOZA - GUZMÁN LARA	NO COMUNICA
19. AV. MONSEÑOR. LEÓNIDAS	NO COMUNICA
20. AV. MARIANO ACOSTA CON GABRIELA MISTRAL	NO COMUNICA
21. GALO PLAZA - VICTORIA CASTELO	NO COMUNICA
22. ALFREDO ALBUJA - GUZMÁN LARA	NO COMUNICA
23. ALFREDO ALBUJA - C. BARAHONA	NO COMUNICA
24. CAMILO PONCE - RICARDO SÁNCHEZ	NO COMUNICA
25. LOS GALEANOS - M. CAÑIZARES	NO COMUNICA
26. LOS GALEANOS - M. SÁENZ	NO COMUNICA
27. AV. RICARDO SÁNCHEZ - AV. ESPEJO	NO COMUNICA

28. TOBÍAS MENA - RIO QUININDE	NO COMUNICA
29. AV. EL RETORNO - HERNÁN GONZÁLEZ	NO COMUNICA
30. AV. ATAHUALPA - HERNÁN GONZÁLEZ	NO COMUNICA
31. AV. ATAHUALPA - CAP. JOSE ESPINOZA	NO COMUNICA
32. AV. ATAHUALPA - PRINCESA CORY CORY	NO COMUNICA
33. AV. ATAHUALPA - MAZACOTA PUENTO	NO COMUNICA
34. HERNÁN GONZÁLEZ DE SAA - JUANA ATABALIPA	NO COMUNICA
35. F - EUGENIO ESPEJO - AV. FRAY VARGAS G.	NO COMUNICA LÍNEA FÉRREA
36. F - EUGENIO ESPEJO - AV. ALF. P. GUERRERO	NO COMUNICA LÍNEA FÉRREA
37. F- AV. MARIANO ACOSTA – AV. FRAY VARGAS GALINDO	NO COMUNICA LÍNEA FÉRREA
38. FRAY VACAS - DARÍO EGAS	NO COMUNICA LÍNEA FÉRREA
39. F - AV. C. TROYA - AV. FRAY VACAS G.	NO COMUNICA LÍNEA FÉRREA
40. F - FRAY VARGAS GALINDO - LUIS F. BORJA	NO COMUNICA LÍNEA FÉRREA
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>

## MANUAL SOBRE LA TEMPORIZACION DE UN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA

### Paso 1.

#### Toma de datos dentro de la intersección en conflicto.

Identificar la intersección con mayor conflicto de volumen vehicular y toma de datos en la hora de máxima demanda utilizando la tabla para cada uno de los sentidos. Dependiendo del número de sentidos que esta posea, ya sea de 4 fases con giro protegido a la izquierda y giro permitido a la derecha o de 2 fases con movimientos simultaneo en un solo sentido.

Se la toma de conteos se realiza únicamente en las horas de gran flujo vehicular de 06:00 a 20:00, debido a que las demás horas no existe gran número de vehículos y en las horas de la madrugada los semáforos permanecen en luz intermitente, cada fase debe tener la mayor cantidad de movimientos simultáneos para lograr un volumen óptimo en la intersección.

Carriles	Derecho						Central						Izquierdo		
	Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		Bus o Camión.		Vehículo Recrea.		Vehículo Pequeño		B. C.	V. R.	V. P.
Tipos de autos	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG	GD	SG			
Giros													Giro Izq.		
Total %															
Total Carril															
<b>TOTAL</b>															

Dónde:

**GD:** vehículos que giran hacia la derecha

**SG:** vehículos que transitan sin giro (movimiento directo)

**GI:** vehículos que giran hacia la izquierda.



## Paso 2.

### Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.

En este paso todos los vehículos que salen de una intersección seguirían de frente, se tiene tasas máximas de flujo con intervalos casi iguales, pero no siempre sucede estos casos por lo que existen vehículos grandes y también los vehículos giran a la derecha y a la izquierda. Para estos aspectos se debe tener en cuenta los factores de equivalencia por presencia de vehículos pesados.

Los vehículos de mayor tamaño como: los camiones equivalen 3,5 automóviles, seguido por los buses que equivalen a 2 automóviles, y por último los vehículos recreativos que equivalen a 1,5. Estos a su vez por su tamaño y peso necesitan mayor tiempo de despeje en la intersección.

Para calcular el factor de efecto ( $F_{HV}$ ) por presencia de autobuses y automóviles recreativos, se utiliza la siguiente ecuación, para la misma se toma en cuenta que en las intersecciones urbanas del centro de la ciudad la presencia de vehículos pesados (camiones) no se toma en cuenta debido a las normas de restricción.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Dónde:

$F_{HB}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados.

$P_T$  = % de camiones en corriente vehicular.

$E_T$  = Autos que equivalen a camiones.

$P_B$  = % de autobuses en corriente.

$E_B$  = Autos que equivalen a un autobús.

$P_R$  = % de vehículos recreativos en corriente vehicular.

$E_R$  = Automóviles que equivalen a un vehículo recreativo.

### Paso 3.

#### Vehículos directos equivalentes.

Calcular los diferentes flujos de vehículos directos equivalentes ( $q_{ADE}$ ) e identificar el carril de mayor volumen, para los diferentes accesos de la intersección utilizando la tabla para cada uno de los accesos. Se recomienda que, para el estudio del proyecto o diseño de tiempos de semáforos el valor de  $FHMD = 0.95$ .

Los vehículos que giran hacia la izquierda de igual manera tienen un factor de ajuste por motivo de giro, en el cual se pierde un porcentaje de tiempo llamado  $E_{VI}$ , además el factor de hora de máxima demanda ( $FHMD$ ), en casos de proyectos y planes de tiempo del semáforo, se sugiere utilizar un valor de 0,95. Por su parte los vehículos que giran hacia derecha de igual manera tienen un factor de ajuste por motivo de giro, donde se pierde un porcentaje de tiempo llamado  $E_{VD}$ .

Vuela a la izquierda	Carril central	Carril derecho	Vuelta a la derecha
$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$	$q_{AD} = \frac{VHMD_C}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{AD} = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right)$	$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$

Dónde:

$q_{AD}$  = Movimientos por carril central.

$VHMD$  = Volúmenes de máxima demanda de vehículos sin giro.

$FHMD$  = Factor de hora de máxima demanda.

$f_{HB}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados.

$q_{VI}$  = Vehículos equivalentes que giran hacia la izquierda.

$VHMD_{VI}$  = Volúmenes de máxima demanda que giran a la izquierda.

$q_{VD}$  = Vehículos equivalentes que giran hacia la derecha.

$VHMD_{VD}$  = Volúmenes de máxima demanda que giran hacia la derecha.

#### **Paso 4.**

##### **Tiempos de amarillo y todo rojo.**

La función o el trabajo del intervalo de fase es la de alertar al conductor sobre el derecho de uso de la intersección, la cual nos indica el tiempo en el que el conductor debe prevenir el uso de desaceleración del vehículo y el de despegue de la intersección puesto que los tiempos que nos entrega esta función es amarillo mas todo rojo.

Calcular la longitud de los intervalos de cambio de fase ( $y$ ). Se recomienda que el valor de la velocidad sea el indicado por las normas INEN dentro de la ciudad.

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

Dónde:

$y$  = Intervalo de cambio de fase, amarillo mas todo rojo.

$t$  = Tiempo de percepción y reacción del conductor por lo general se usa 1 seg.

$v$  = Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s).

$a$  = Tasa de desaceleración por lo general se usa 3,05 m/s<sup>2</sup>.

$W$  = Ancho de la intersección en metros.

$L$  = Longitud del vehículo (6,10 m).

#### **Paso 5.**

##### **Tiempos totales perdidos.**

Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos que cruza la línea de Pare se incrementa rápidamente a una tasa llamada flujo de saturación ( $s$ ), esta tasa de vehículos que cruza la línea al arrancar es menor

durante los primeros segundos, mientras los vehículos aceleran hasta alcanzar una velocidad de marcha normal.

Calcular el tiempo total perdido por el ciclo (L) dentro de la intersección, los cuales previenen al conductor.

$$L = \sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i)$$

Dónde:

**L** = Tiempo perdido.

**A<sub>1</sub>** = Es el Ámbar o amarillo.

**TR<sub>1</sub>** = Es el todo rojo.

Los cuales se calculan en el intervalo de cambio de fase.

#### **Paso 6.**

#### **Máximas relaciones de flujo.**

Este cálculo se realiza para verificar cuanto tiempo tendrá el semáforo y este permanezca en verde, para lo cual, el cálculo se lo realizará a los carriles de mayor flujo vehicular sin importar el sentido, donde **s** = 1900 (dato tomado de las normas INEN), que equivale a los vehículos ligeros por hora de luz verde por carril.

$$Y_1 = \frac{q_{1\max}}{s}$$

Dónde:

**Y<sub>1</sub>** = Relación de flujo para cada uno de los sentidos de la fase.

**q<sub>1max</sub>** = flujo critico o máximo por carril de la fase.

**S** = flujo de saturación.

## Paso 7.

### Ciclo óptimo de la intersección.

Calcular la longitud del ciclo a utilizar dentro de la intersección.

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$$

Dónde:

$C_0$  = tiempo óptimo de ciclo en segundos.

$L$  = tiempo total perdido del ciclo en segundos.

$Y_i$  = es el valor máximo en la relación entre el flujo actual y de saturación para el acceso crítico de carril  $i$ .

$\phi$  = número total de fases.

## Paso 8.

### Tiempo del verde efectivo total en la intersección.

Este tiempo verde efectivo total  $g_T$ , disponible por ciclo para todos los accesos de la intersección, indica el tiempo verde efectivo total de las fases dentro de la intersección. ( $g_T$ ).

$$g_T = C - L = C - \left[ \sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i) \right]$$

Dónde:

$g_T$  = Tiempo verde efectivo por ciclo disponible para todos los accesos.

$C$  = longitud total del ciclo redondeado a los 5 segundos más cercanos.

$L$  = Tiempo perdido.

### Paso 9.

#### Tiempos en verde para cada fase de la intersección.

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  $Y$ , siendo este el valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para acceso o movimiento o carril crítico de cada fase.

Para finalizar se calculan los tiempos verdes efectivos, en cada uno de los sentidos de la intersección en segundos, utilizando la tabla.

Este-Oeste	Noroeste	Norte-Sur	Sureste
$g_1 = \frac{Y_1}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$	$g_2 = \frac{Y_2}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$	$g_3 = \frac{Y_3}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$	$g_4 = \frac{Y_4}{\sum_{i=1}^4 Y_i} (g_T)$

Dónde:

**g** = Tiempo en verde efectivo para cada una de las fases.

**Y** = Relación de flujo para cada uno de los sentidos de la fase.

**g<sub>T</sub>** = tiempo de verde efectivo total.