

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

“DATA CITY: Análisis de movilidad para la toma de decisiones.”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**Ingeniero en Logística y Transporte**

Presentado por:

Henry Eduardo Salvador Vera  
John Sebastián Jácome Pazmiño

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

## **DEDICATORIA**


A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Henry Salvador Vera* y *John Jácome Pazmiño* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
Henry Salvador Vera

  
John Jácome Pazmiño

## EVALUADORES



Ing. Guillermo Baquerizo Palma

PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Heydi Roa López

PROFESOR TUTOR

# RESUMEN

En la actualidad, el tráfico urbano es uno de los principales problemas de las grandes urbes. Este proyecto se enfoca en el análisis de datos de tráfico de Durán para su posterior simulación y visualización que sirva como referencia para el estudio del tráfico en otras ciudades.

Utilizando aforos vehiculares en el horario de 7:00 am a 8:00 am por tres días de la semana durante el mes de noviembre del 2018, se obtuvieron los datos necesarios para realizar el estudio correspondiente de la situación actual del tráfico vehicular utilizando conocimientos de ingeniería de tránsito y posteriormente realizar la simulación de tráfico con la plataforma de Sumo.

En este estudio se encontró que existe un tráfico homogéneo desde Guayaquil hacia Durán y ligeramente heterogéneo desde Durán hacia Guayaquil. Con un promedio del 11% del tráfico constituido por vehículos pesados y un 89% por vehículos livianos. Este alto porcentaje de vehículos pesados en una vía urbana se considera una tendencia común en países de vías de desarrollo.

**Palabras clave:**

Tráfico, ingeniería de tránsito, simulación.

# **ABSTRACT**

*Nowadays, urban traffic is one of the key problems of large cities. This project focuses on the analysis of Duran's traffic data for later simulation and visualization that serves as a reference for the study of traffic in other cities.*

*Using vehicular gauges from 7:00 a.m. to 8:00 a.m. three days a week during November 2018, the necessary data was obtained to carry out the corresponding study of the current situation using knowledge of traffic engineering and subsequently carry out the Traffic simulation with the Sumo platform.*

*During this study it was found that there is a homogeneous traffic from Guayaquil to Duran and a barely heterogeneous traffic from Duran to Guayaquil. With an average of 11% of the traffic constituted by heavy vehicles and 89% by light vehicles in an urban road, a common tendency in developing countries is observed.*

**Keywords:**

*Traffic, traffic engineering, simulation.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURA .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Situación actual.....	4
1.4 Diagrama de la problemática .....	4
1.5 Justificación del problema.....	5
1.6 Objetivos .....	5
1.6.1    Objetivo general.....	5
1.6.2    Objetivos específicos .....	5
1.7 Marco teórico .....	6
1.7.1    Revisión de la literatura.....	6
1.7.2    Marco conceptual.....	8
CAPÍTULO 2.....	47
2. Metodología .....	47
2.1 Estrategia general del proyecto.....	49
2.2 Organigrama general del proyecto .....	50
CAPÍTULO 3.....	51



3. Resultados y análisis.....	51
CAPÍTULO 4.....	74
4. Conclusiones y recomendaciones.....	74
4.1. Conclusiones.....	74
4.2. Recomendaciones.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
APÉNDICE .....	76

# ABREVIATURA

<b>GIZ</b>	Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional
<b>SUMO</b>	Simulation of Urban Mobility
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud

# SIMBOLOGÍA

**CO<sub>2</sub>** Dióxido de Carbono

**GB** Gigabyte

**Km** Kilómetro

**seg** Segundo

**FHMD** Factor horario de máxima demanda

**R<sub>c</sub>** Relación entre el tipo de llegada y la relación de columna

**f<sub>A</sub>** Factor de ajuste por ancho de carril

**f<sub>vp</sub>** Factor de ajuste por vehículos pesados

**f<sub>E</sub>** Factor de ajuste por estacionamiento

**f<sub>B</sub>** Factor de ajuste por paradas de autobuses

**f<sub>L</sub>** Factor de ajuste por localización de la intersección

**f<sub>MD</sub>** Factor de ajuste por giros a la derecha

**f<sub>MI</sub>** Factor de ajuste por giros a la izquierda

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Objetivos de desarrollo sostenible .....	2
Figura 1.2 Diagrama causa y efecto movilidad urbana .....	4
Figura 1.3 Semáforo .....	37
Figura 1.4 Intervalo de cambio de fase.....	40
Figura 1.5 Modelo básico del flujo de saturación.....	42
Figura 2.1 Metodología.....	47
Figura 2.2 Estrategia general del proyecto .....	49
Figura 2.3 Diagrama general del proyecto.....	50
Figura 3.1 Flujo de vehículos promedio entre semana de Durán a Guayaquil .....	51
Figura 3.2 Flujo de vehículos promedio entre semana de Guayaquil a Durán .....	52
Figura 3.3 Gráfica comparativa entre el flujo desde Durán a Guayaquil vs flujo de Guayaquil a Durán.....	53
Figura 3.4 Gráfica de la composición del tráfico vehicular desde Durán hacia Guayaquil .....	54
Figura 3.5 Gráfica comparativa entre el flujo de vehículos livianos vs el flujo de vehículos pesados en la intersección .....	54
Figura 3.6 Representación gráfica volumen vehicular .....	55
Figura 3.7 Fases propuestas .....	62
Figura 3.8 Diagrama de fases .....	67

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Criterios de nivel de servicio para intersecciones reguladas por semáforo.....	19
Tabla 1.2 Relación entre el tipo de llegada y la relación de columna ( $R_c$ ).....	23
Tabla 1.3 Valores sustitutos por omisión para los análisis de la circulación y de planeamiento .....	24
Tabla 1.4 Grupos de carriles habituales para su análisis .....	26
Tabla 1.5 Factores sustitutos por omisión de utilización de carril .....	27
Tabla 1.6 Factor de ajuste por ancho de carril ( $f_A$ ) .....	28
Tabla 1.7 Factor de ajuste por vehículos pesados ( $f_{VP}$ ).....	29
Tabla 1.8 Factor de ajuste por pendiente del acceso .....	30
Tabla 1.9 Factor de ajuste por estacionamiento ( $f_E$ ).....	30
Tabla 1.10 Factor de ajuste por paradas de autobuses ( $f_B$ ).....	31
Tabla 1.11 Factor de ajuste por localización de la intersección ( $f_L$ ).....	31
Tabla 1.12 Factor de ajuste por giros a la derecha ( $f_{MD}$ ) .....	32
Tabla 1.13 Factor de ajuste por giros a la izquierda ( $f_{MI}$ ).....	33
Tabla 1.14 Factor de ajuste (FD) por demora uniforme.....	34
Tabla 1.15 Valores para factores de vehículos equivalentes.....	42
Tabla 3.1 Flujo de vehículos promedio entre semana de Durán a Guayaquil .....	51
Tabla 3.2 Flujo de vehículos entre semana de Guayaquil a Durán .....	52
Tabla 3.3 Composición vehicular.....	53
Tabla 3.4 Volumen vehicular en la intersección .....	55
Tabla 3.5 Flujo por periodo de 15 minutos .....	56
Tabla 3.6 Resultados de ajuste de volúmenes situación actual .....	57
Tabla 3.7 Análisis flujo de saturación situación actual.....	58
Tabla 3.8 Tiempos del semáforo situación actual.....	58
Tabla 3.9 Análisis de capacidad situación actual .....	59
Tabla 3.10 Análisis del nivel de servicio situación actual.....	61
Tabla 3.11 Factor hora máxima demanda por movimiento.....	62
Tabla 3.12 Resultados flujos por fases.....	65
Tabla 3.13 Tiempos óptimos de semáforos.....	67
Tabla 3.14 Resultados de ajuste de volúmenes situación mejorada .....	68

Tabla 3.15 Análisis del flujo de saturación mejorada.....	69
Tabla 3.16 Análisis de capacidad mejorado .....	70
Tabla 3.17 Análisis del nivel de servicio mejorado .....	72



# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

El presente proyecto de final de carrera de Ingeniería en Logística y Transporte tiene como temática principal al análisis de movilidad vehicular en Durán, que se puede expresar como la cantidad promedio de vehículos que fluyen por una zona determinada o vías de la urbe junto con sus respectivas características de tráfico.

Este trabajo se realiza con la finalidad de que sirva como referencia para el estudio del tráfico en otras ciudades.

La idea que se planteó para culminar con éxito el objetivo de este proyecto fue comenzar con la toma física de datos relacionados al flujo vehicular a través de aforos vehiculares en la intersección (Avenida Nicolás Lapentti y Avenida Jaime Nebot Velasco) con mayor relevancia para dirigirse hacia la ciudad de Guayaquil, luego se comenzó con el análisis de los datos recolectados basándose en la teoría de ingeniería de tránsito y finalmente se representó de manera gráfica mediante el software de uso libre SUMO para una mejor apreciación visual de la situación actual del tránsito vehicular en ese sector.

Para concluir con este trabajo se presenta un reporte de recomendaciones y sugerencias que se determinan a partir de los resultados obtenidos.

### 1.1 Descripción del problema

Durán es una de las ciudades que tiene alta vulnerabilidad frente a eventos de desastres en contexto de variabilidad y cambio climático, debido a estas razones es considerado un sector para estudios sobre contaminación y movilidad vehicular. Otra de las características de Durán es que desde y hacia ella, diariamente fluye gran volumen de tránsito tanto de transporte pesado como particular. Por ello, se ha creado el proyecto llamado RESCLIMA, este proyecto tiene como objetivo diseñar estrategias de resiliencia que permitan justamente disminuir esta vulnerabilidad. DATA-CITY, nace como parte de este proyecto integral dando su aporte en el análisis de la movilidad.

Dentro del proyecto DATA-CITY se busca obtener información de la situación actual del transporte interno y por las periferias, que permita la evaluación no sólo del flujo vehicular sino además permita conocer la situación de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyen a la aceleración del cambio climático y problemas de salud.



Esta problemática no solo abarca a Durán, ya que los inconvenientes con el cambio climático son a nivel global, por lo que es pertinente comenzar a diagnosticar este tipo de ciudades intermedias para su sostenibilidad y así ayudar a enfrentar el cambio climático.

### 1.2 Antecedentes

En septiembre del año 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas adopta la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, con 17 objetivos y 169 metas se abarcan las esferas económica, social y ambiental.

Figura 1.1 Objetivos de desarrollo sostenible



Fuente: Naciones Unidas

En diciembre del año 2015 se adopta el Acuerdo de París buscando combatir el problema del cambio climático. Con el objetivo principal de sentar las bases para una transformación de la economía mundial que sea sostenible y compatible con el clima, a través del compromiso de todos los países miembros para que esto se cumpla.

Es por esto, en octubre del año 2016 se realizó la conferencia internacional Hábitat III que dio como resultado la Nueva Agenda Urbana, la cual fomenta en Ecuador y todos

los países que la adopten un desarrollo urbano sostenible y la implementación de procesos de reestructuración compatibles con el clima.

En agosto del año 2017 la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) comienza la implementación del Programa Ciudades Intermedias Sostenibles. Una contribución a la agenda 2030, el acuerdo de París y la Nueva Agenda Urbana.

Durán cuenta con una población de 230.839 (2010) habitantes, siendo la novena ciudad más poblada del Ecuador, nace primero como parroquia rural del cantón Guayaquil en 1902 y en 1986 fue dividida como cantón Durán. Esta se ha convertido en la ciudad intermedia de Guayaquil limitada por el río Guayas. Su actividad económica, social y comercial está fuertemente ligada a Guayaquil con lo que, si es que se aporta a la sostenibilidad de Durán, se está aportando indirectamente a la sostenibilidad de Guayaquil.

En Zipaquirá en Colombia, ciudad intermedia al igual que Durán, en el año 2017 se realizó un estudio de movilidad urbana sostenible. Para esto se utilizó una metodología para levantar información dividiendo a la ciudad en polígonos y bordes usando escala a nivel de “manzanas”. A través de este estudio salieron a la luz vacíos conceptuales en cuanto a planeación de movilidad urbana, se evidenció que la visión de movilidad prioriza las infraestructuras viales y los medios de transporte motorizado en lugar de otros medios de transporte sostenibles como la bicicleta que se ve opacado por la falta de infraestructura para estos medios.

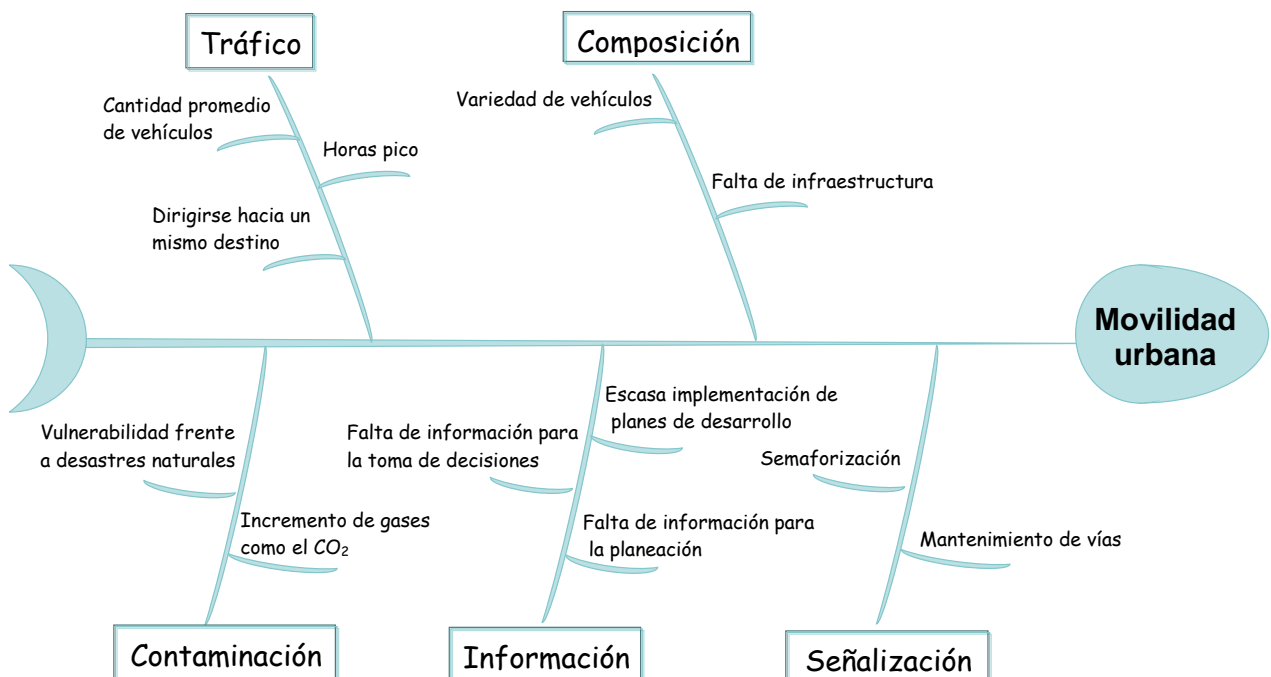
En Perú se está realizando desde el 2017 (hasta el 2020) la implementación de un plan de transporte sostenible en ciudades intermedias, con el apoyo de la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ), el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y gobiernos locales seleccionados a través de asesoramiento técnico y apoyo en el desarrollo de sistemas de transporte urbano sostenibles y de bajas emisiones. Con esta implementación se estima mitigar alrededor de 100,000 toneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub> en 2020, para el año 2030 se estima el ahorro hasta en 400,000 toneladas de CO<sub>2</sub>.

### 1.3 Situación actual

Las autoridades locales hoy en día tienen un gran reto con el crecimiento de sus urbes, sin embargo, es escasa la información especializada para la toma de decisiones dentro del ámbito del ordenamiento territorial urbano, manejo de riesgos y crecimiento urbanístico. La industria y los negocios también presentan una evidente falta de información, los constructores no tienen ideas claras de cuáles serán los mejores lugares para proyectos inmobiliarios. Este proyecto busca diseñar un software que sirva como producto informático para ciudades inteligentes utilizando datos generados por ciudadanos, sensores e información científica generada por los expertos de ESPOL, basándose en el proyecto piloto DURÁN-RESILIENTE. Este proyecto consiste en preparar a la ciudadanía para prevenir eventos adversos como son desastres naturales, entre otros y disminuir la vulnerabilidad a la que está expuesta la población, usando datos de movilidad, recolectados mediante aforos vehiculares y en una fase siguiente con la app “Connect Duran edition”, la misma que tiene como objetivo almacenar datos de movilidad de los usuarios que permita crear una matriz origen y destino de la ciudad.

### 1.4 Diagrama de la problemática

Figura 1.2 Diagrama causa y efecto movilidad urbana



Fuente: Autor

## **1.5 Justificación del problema**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existen cada año 7 millones de muertes en todo el mundo por exposición al aire contaminado. Convirtiéndose en la sexta causa de muerte a nivel mundial. De estos 7 millones de muertes, 1,3 millones son causados por polución urbana. Esta polución es generada por muchas causas, dentro de las principales está la contaminación del tráfico vehicular. Es por esto la importancia de hacer un análisis del tráfico en las ciudades intermedias como es Durán para que sirva de base en el análisis del tráfico en distintas ciudades intermedias del país.

Con el análisis del tráfico vehicular en Durán, se puede mejorar la circulación del tráfico vehicular, así como también obtener datos con respecto a la contaminación emitida por los vehículos livianos y pesados.

El presente proyecto Data-City es una manera de visualizar esta información del tránsito de Durán, teniendo este software de visualización ayudará a la toma de decisiones y planificación urbana sostenible.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Diseñar la arquitectura de una plataforma de visualización genérica de datos, mediante el uso de tecnologías web para presentar de manera precisa y ordenada la información recopilada por los investigadores de ESPOLE de tal forma que se pueda valorizar el conocimiento y esfuerzo realizado.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar datos mediante aforos vehiculares en puntos previamente identificados como estratégicos.
2. Analizar datos recopilados por medio de metodologías de ingeniería del tránsito.
3. Simular la situación actual (2018) a través del software de uso libre SUMO, para tener conocimiento que permita una mejor planeación y toma de decisiones.
4. Generar información que sirvan como datos de ingreso para la siguiente fase del proyecto general.

## 1.7 Marco teórico

### 1.7.1 Revisión de la literatura

MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE EN CIUDADES INTERMEDIAS COLOMBIANAS

Autor: Milton Mauricio Moreno Miranda

Segundo autor: Juan Pablo Beltrán Cárdenas y Nicolás Esteban Palomino Rozo.

Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad Piloto de Colombia

Año: 2017

Origen: Colombia

#### RESUMEN

“Este estudio presenta el resultado de la implementación de una metodología, la cual se utilizó en campo para levantar información relacionada con las condiciones de movilidad no motorizada de la ciudad de Zipaquirá. Para ello se utilizó la escala a nivel de “manzana”, se trabajó con 83 polígonos y 347 bordes dentro del casco urbano. Con base en el marco teórico, el cual se apoya en autores y referentes, se produce como resultado un diagnóstico territorial. Para ello se tuvo en cuenta el resultado obtenido en campo y el análisis de los instrumentos de planeación vigentes en la ciudad. Esto permitió evidenciar vacíos conceptuales presentes en tales documentos. Finalmente, el artículo expone algunas conclusiones y recomendaciones que aportan a la reflexión en cuanto a las condiciones de movilidad de las ciudades intermedias en Colombia.”

Mejorando el desarrollo urbano sostenible a través de aplicaciones de ciudades inteligentes

Autores: Margarita Angelidou, Artemis Psaltoglou, Nicos Komninos, Christina Kakderi, Panagiotis Tsarchopoulos, Anastasia Panori,

Año: 2017

Origen: Grecia

#### Resumen:

“Este documento investiga la contribución potencial de los enfoques y herramientas de ciudades inteligentes para el desarrollo urbano sostenible en el dominio del medio ambiente. Investigaciones recientes han resaltado la necesidad de explorar la relación de ciudades inteligentes y sostenibles de manera más sistemática, centrándose en aplicaciones prácticas que podrían permitir una comprensión más profunda de los

dominios, tipologías y conceptos de diseño incluidos, y este documento pretende abordar esta brecha de investigación. Al mismo tiempo, trata de identificar si estas aplicaciones pudieran contribuir a la estrategia de "visión cero", un desafío extremadamente ambicioso dentro del campo de las ciudades inteligentes.

El objetivo se persigue a través de una investigación en profundidad de las aplicaciones de código abierto y de ciudad inteligente propietarias relacionadas con la sostenibilidad ambiental en entornos urbanos. Se detectaron un total de 32 aplicaciones a través de la comunidad de Código Abierto de Ciudades Inteligentes / Inteligentes (ICOS), un meta-depósito de soluciones para ciudades inteligentes. Las aplicaciones se analizan comparativamente con respecto a (i) el problema ambiental abordado, (ii) las estrategias de mitigación asociadas, (iii) el mecanismo de innovación incluido, (iv) el papel de las tecnologías de la información y la comunicación y (v) el resultado general.

Los hallazgos sugieren que el paisaje de la ciudad inteligente y sostenible está extremadamente fragmentado tanto en el nivel político como en el técnico. Hay una gran cantidad de oportunidades inexploradas hacia el desarrollo sostenible inteligente, muchas de las cuales aún son desconocidas. Se alcanzan conclusiones similares para todas las categorías de desafíos ambientales en las ciudades. Las limitaciones de la investigación se refieren al análisis de un número relativamente pequeño de aplicaciones. Los resultados se pueden utilizar para informar la formulación de políticas para que sean más proactivos e impactantes a nivel local y global. Dado que también se identifican nichos de mercado de aplicaciones de ciudades inteligentes, también son de especial interés para desarrolladores, comunidades de usuarios y empresarios digitales. El valor agregado por este documento es doble. En el nivel teórico, ofrece un buen puente conceptual entre el debate de ciudades inteligentes y sostenibles. A nivel práctico, identifica campos poco investigados y subexplotados de aplicaciones de ciudades inteligentes que podrían ser oportunidades para alcanzar el objetivo de "visión cero".

Identificación y análisis de indicadores de sostenibilidad para la movilidad

Autores: Enrique Flores Juca, Justo García Navarro, Jessica Chica Carmona, Estefanía Mora Arias

Origen: Cuenca

Resumen:

“Este estudio es el resultado del proyecto de investigación: Identificación y análisis de indicadores de sostenibilidad para el transporte: el caso del área rural del cantón Cuenca. Su objetivo es identificar un conjunto de indicadores de sostenibilidad para el transporte rural con la finalidad de convertirse en una herramienta de planificación que permita mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales, a partir de la medición de los efectos generados por la movilidad rural actual. La conformación del conjunto de indicadores partirá de la aportación de estudios relacionados con el tema en contextos internacionales de los cuales, en virtud de criterios de elegibilidad definidos, se seleccionará los indicadores adecuados. Este conjunto final será aplicado en las parroquias rurales más representativas del cantón Cuenca, constituyendo este proceso el punto de partida para alcanzar una movilidad sostenible deseada.”

### **1.7.2 Marco conceptual**

A medida que el tiempo avanza, incrementa el uso de la tecnología en todas las áreas por lo que es necesario tener una retroalimentación continua y así poder modernizar muchos aspectos periódicamente, estos progresos incurren también en los procesos urbanísticos, personas especialistas en proyectar ciudades modernas se amparan en el avance de la tecnología, buscando implementar métodos innovadores en el presente (2018) se utilizan los recursos e información disponible para proyectar estas ciudades modernas llamadas Smart City cuyo objetivo se basa en implementar tecnología para beneficio de los ciudadanos.

Para alcanzar todo este avance tecnológico urbanístico en ciudades de Latinoamérica se necesita que cada etapa de este megaproyecto sea analizada y así presentar su debido diagnóstico para tomar las mejores decisiones, es ahí donde se involucra el proyecto DATA CITY con la finalidad de diagnosticar la movilidad urbanística de la ciudad Durán. Iniciativa que se realiza con el propósito de avanzar tecnológicamente en ciudades de Latinoamérica y así en un futuro no muy lejano contar con (sensores en semáforos, cámaras, transporte eléctrico, etc.) funcionales a servicio de la comunidad. Dado que el enfoque del proyecto será el diagnóstico de la movilidad urbana en Durán, es necesario plantear algunos conceptos de ingeniería de tránsito que sirvan como ejes conceptuales sobre los cuales se pueda realizar un diagnóstico eficaz de la situación actual de tránsito.

La estructura que se va a seguir es la siguiente:

- Aforo de volumen vehicular
- Fundamentos de ingeniería de tránsito
- Simuladores

### **Aforo de volumen vehicular**

Esto se define como el acto de contabilizar en una sección o punto específico el movimiento vehicular con relación a tiempo y espacio, se conocen diferentes tipos de aforos los cuales tienen sus diferentes características, los aforos tienen como objetivo satisfacer las siguientes necesidades:

- Estudios prioritarios de construcción
- Estudios prioritarios de señalización
- Estudios prioritarios de conservación (mantenimiento)
- Estudios de accidentes en la zona

Existen diferentes métodos de aforo, para este proyecto se enfoca en dos métodos específicos que son el método manual y el de origen y destino, sin embargo, a continuación, se detallan todos los métodos conocidos:

### **Método manual**

El método manual consiste en llenar plantillas prediseñadas para recaudar datos de la vía que sean relevantes para un proyecto en específico, que puede estar a cargo de una o más personas dependiendo de la complejidad y la cantidad de datos, los tipos de datos que se pueden obtener son:

- Flujo direccional y por carriles
- Volúmenes totales
- Composición vehicular

Los períodos para la toma de los datos puede ser una hora, un día, un mes o un año según sea el caso que se desea representar.



## **Método mecánico**

Este método se realiza con instrumentos mecánicos previamente instalados y preparados en la vía de análisis correspondiente, hay diferentes tipos de dispositivos que se los detalla brevemente a continuación:

- **Contacto eléctrico:** Este artefacto está compuesto por placas de acero recubiertas con una placa de hule que a su vez contiene una tira de acero inoxidable, la funcionalidad que tiene es que al momento de un vehículo pase por dicho artefacto cierra circuito y se realiza el respectivo conteo, la ventaja de este dispositivo es que se puede tomar datos por cada carril y en qué sentido se dirige el vehículo.
- **Detectores neumáticos:** Es un tubo neumático que es colocado en forma transversal en la calzada para así registrar el conteo mediante los impulsos que genera al momento de pasar un vehículo.
- **Foto eléctrico:** Dispositivo electrónico que es fuente emisora de luz situado al costado de la vía, el método que realiza para contar los vehículos es cuando se interfiere con la luz del dispositivo.
- **Fotografías:** Este método trata de fijar la cámara a un costado de la vía tomar la fotografía y luego proceder al conteo de los vehículos.
- **Radar:** Este dispositivo emite ondas que al ser impactadas por los vehículos cambia de frecuencia y es así como realiza el conteo.

## **Encuestas de origen y destino**

Es común representar la estructura de viajes que van a ser analizados en una matriz de origen y destino, el objetivo de representar de esta forma es recopilar datos cuantitativos sobre el número y tipos de viajes que se realizan de vehículos o personas, se emplea este tipo de encuesta con la finalidad de planeamiento o mejoras de vías, hay algunas formas de realizar este trabajo se detallan a continuación:

- **Tarjetas postales a los conductores en movimiento:** Se les hace llegar una ficha a los conductores para que sean llenadas y que sean entregadas en un punto determinado.
- **Encuestas a conductores de vehículos:** Se procede a entrevistar al conductor con respecto a su punto de origen y su lugar de destino.
- **Encuestas a domicilios.**
- **Encuestas a los pasajeros que utilizan con frecuencia el transporte público.**

- Placas de vehículos: Se anotan los dígitos de las placas de dos o más zonas o puntos específicos del área de estudio.

### **Fundamentos de ingeniería de tránsito**

“El instituto de ingeniería de tránsito de los Estados Unidos ha definido la ingeniería de tránsito como <<la rama de la ingeniería que trata del planeamiento, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras, así como de los aparcamientos, terrenos colindantes y zonas de influencia y de su relación con otros medios de transporte. Su objetivo es que el movimiento de personas y mercancías se realice de la forma más segura, eficaz y cómoda>>.”<sup>1</sup>

Se procederá a definir las características del tráfico no independientes:

- Intensidad
- Composición
- Velocidad

Características independientes:

- Separación
- Intervalo.

### **Intensidad**

Es una de las características que influyen en el tráfico, es variable dependiendo de la demanda en cada tramo u otras veces depende de la oferta o capacidad de la vía, pues al llegar a una restricción afecta a la demanda; pero depende más del tiempo, puesto que la intensidad es diferente en cada momento.

La intensidad en función del tiempo se calcula de dos formas:

- Intensidad Media Diaria Anual (IMD). Es la intensidad que corresponde al día medio del año. Ver expresión 1.1.

$$IMD = \frac{\text{Número de vehículos por sección en el año}}{365} \quad (1.1)$$

- Intensidad Horaria Punta. Es el número de vehículos que pasan por una sección durante la hora pico de mayor circulación.
- La intensidad en las horas pico es la variación de tráfico dentro de esa hora y define el correcto funcionamiento de la vía.

## Composición

La composición consiste en la variedad de vehículos que componen la corriente de tráfico que circula por la vía, los tipos que se puede encontrar en una vía urbana son los siguientes:

- Motos.
- Automóviles.
- Camionetas.
- Tractores.
- Camiones sin remolque.
- Camiones con remolque.
- Autobuses.

Entre estos tipos no se considera a las bicicletas puesto que no influyen en mayor importancia en el tráfico, ni las carretas de tracción animal ya que la probabilidad de encontrar estas en una ciudad es casi nula.

Estos tipos pueden ser agrupados en tres categorías que son:

- Motos.
- Vehículos ligeros.
- Vehículos pesados.

La composición varia con el tiempo y depende de las características de la vía, mas no coincide con la composición del parque automotriz, puesto que cada vehículo corre distinta distancia y en diferente frecuencia.

## Velocidad

Esta es una de las definiciones más complejas en tráfico, puede ser de diferentes tipos:

**Velocidad Local:** Es la velocidad al atravesar una sección de una vía.

**Velocidad de Recorrido ( $V_r$ ):** Es el cociente entre la distancia total recorrida en un tramo dividida por el tiempo en que demora en recorrerlo.

**Velocidad de circulación ( $V_c$ ):** Es el cociente de la distancia recorrida en un tramo dividida por el tiempo en que el vehículo está en movimiento. En este caso no interesa la velocidad de un solo vehículo, sino de todos los que forman parte del tráfico, para lo cual se calculan velocidades medias:

**Velocidad media local en el tiempo**

$$V_t = \frac{\sum V_j}{n} \quad (1.2)$$

Donde  $V_j$  es la velocidad del vehículo  $j$  y  $n$  es el número de vehículos.

**Velocidad media en un tramo**

$$V_r = \frac{nL}{\sum t_j} \quad (1.3)$$

Donde  $L$  es la longitud de la vía y  $n$  es el número de vehículos.

Existen otros tipos de velocidades que no dependen del tiempo que son:

Velocidad de Proyecto. Define los elementos geométricos de la vía como radios de curvatura, horizontales y verticales, distancias de vista y peraltes.

Velocidad de Servicio. Es la velocidad a la que se puede circular por una vía en situaciones atmosféricas favorables, en las condiciones de circulación existentes en cada momento y dentro de unos márgenes razonables de seguridad.

**Separación**

La separación o espaciamiento ( $s$ ) es la distancia en metros entre la parte delantera de un vehículo y la parte delantera del vehículo que se encuentra detrás o delante de este. Con ayuda de esta característica del tráfico podemos calcular la densidad o concentración media que es:

**Densidad o concentración media**

$$K = \frac{1}{\bar{s}} \quad (1.4)$$

medida en vehículos por kilómetro, donde  $\bar{s}$  es la separación media en kilómetros calculada a través de:

**Separación media**

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} s_i}{N-1} \quad (1.5)$$

donde  $s_i$  es la separación simple entre el vehículo (i) y el vehículo (i+1); y, (N) el número de vehículos.

### Intervalo

El Intervalo (h) consiste en el tiempo que separa a dos vehículos sucesivos, medido en una misma sección. El intervalo de un vehículo es igual al cociente de la separación y la velocidad como se muestra en la siguiente expresión (1.6).

$$\text{Intervalo}$$
$$h = \frac{s(m)}{V(m/s)} \quad (1.6)$$

Gracias a esta característica se puede calcular la intensidad o flujo de vehículos por unidad de tiempo que es:

$$\text{Intensidad o flujo}$$
$$q = \frac{1}{\bar{h}} \quad (1.7)$$

donde  $\bar{h}$  es el intervalo medio calculado a través de:

$$\text{Intervalo medio}$$
$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N - 1} \quad (1.8)$$

donde  $h_i$  es el intervalo simple entre el vehículo (i) y el vehículo (i + 1); y, (N) el número de vehículos.

### Intersecciones con semáforo bajo condiciones de circulación discontinua

El estudio realizado está basado en la referencia bibliográfica del manual Norteamericano Highway Capacity Manual (HCM-85).

Con respecto a la intersección con un sistema vial de circulación discontinua, el nivel de servicio y la capacidad no están totalmente correlacionados, por lo tanto, estos conceptos van a ser analizados de manera separada. El análisis del nivel de servicio hace referencia a la demora media de los vehículos que son detenidos por la acción de los semáforos, esto representa en los usuarios tiempo perdido en su recorrido, incomodidad, consumo de combustible y frustración al momento de conducir. Por otro lado, el análisis de

capacidad se define como el cálculo de la relación entre volumen/capacidad para movimientos críticos en carriles simples o agrupados.

### **Análisis de la capacidad de intersecciones con semáforo**

La capacidad en una intersección con semáforo se define para cada acceso, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones normales del tránsito, de la vía y del semáforo. Esta medida en vehículos por hora (veh/h), para intervalos de 15 minutos.

#### **Condiciones normales del tránsito:**

- ✓ Composición vehicular: Automóviles, camiones o autobuses.
- ✓ Volúmenes por tipo de movimiento a la derecha, izquierda o de frente.
- ✓ Conflictos peatonales.
- ✓ Paradas de autobuses.
- ✓ Maniobras de estacionamiento.

#### **Condiciones normales de la vía:**

Se da referencia a las características geométricas de los accesos

- ✓ Uso de carriles.
- ✓ Número y ancho de carriles.
- ✓ Pendientes.

#### **Condiciones normales del semáforo:**

- ✓ Asignación de tiempos.
- ✓ Secuencia de fases.
- ✓ Tipo de operación o control

Se deben realizar los siguientes cálculos para el análisis de la capacidad:

- La relación volumen a capacidad ( $v/c$ ) para movimientos críticos para carriles simples o grupales de carriles en todo el acceso. Esta relación se define para intervalos de 15 minutos, donde “v” es el flujo actual del carril o grupo de carriles y “c” es la capacidad.

- El flujo de saturación ( $s$ ) en unidades de vehículos por hora de luz verde (veh/hv), se refiere a un 100% del tiempo verde efectivo en un carril o grupo de carriles según se el caso.
- La relación de flujo para un carril o grupo de carriles "i",  $(v/s)_i$ .

La capacidad de un acceso o grupo de carriles se define como:

$$c_i = s_i(g_i/C) \quad (1.9)$$

Donde:

$c_i$  = Capacidad del acceso o grupo de carriles "i", (veh/h).

$s_i$  = Flujo de saturación del acceso o grupo de carriles "i", (veh/hv - vehículos por hora de luz verde).

$g_i$  = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles i, en segundos.

$C$  = Longitud de ciclo del semáforo, en segundos.

$g_i/C$  = Relación de verde para el acceso o grupo de carriles i.

La relación volumen/capacidad para un acceso o grupo de carriles  $(v/c)_i$  se llama grado de saturación  $X_i$  en el análisis de la intersección, para enfatizar la relación de la capacidad con las condiciones de señalización, se expresa como:

$$X_i = (v/c)_i = \frac{v_i}{(s_i g_i / C)} = \frac{(v/s)_i}{(g_i / C)} \quad (1.10)$$

Donde:

$X_i = (v/c)_i$  = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles i:

$v_i$  = Flujo actual para un acceso o grupo de carriles i, (veh/h).

$s_i$  = Flujo de saturación del acceso o grupo de carriles "i", (veh/hv - vehículos por hora de luz verde).

$g_i$  = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles i, en segundos.

$C$  = Longitud del ciclo del semáforo, en segundos.

$(v/s)_i$  = Relación de flujo para un acceso o grupo de carriles "i".

### Grado de saturación crítico de la intersección

En el análisis operacional, en la intersección señalizada se define otro concepto para evaluar la capacidad global, es el grado de saturación crítico de la intersección ( $X_c$ ), a continuación, se citará un ejemplo, en una intersección con una planificación de dos fases, durante el mismo tiempo en verde se mueven grupos de carriles opuestos, generalmente uno de estos grupos de carriles requerirá un tiempo mayor en verde por lo que tendrá una mayor relación de flujo. Por tanto, este podría ser el grupo de carriles "críticos" para la intersección de dos fases. Cada fase tendrá un grupo de carriles crítico que determinan los requerimientos de tiempo verde para dicha fase. Se define a continuación:

$$X_c = \frac{C}{C - L} \left[ \sum_i (v/s)_{ci} \right] \quad (1.11)$$

Donde:

$X_c$  = Grado de saturación crítico.

$\sum_i (v/s)_{ci}$  = Suma de las relaciones de flujo de todos los accesos o grupos de carriles críticos "i".

$C$  = Longitud del ciclo del semáforo, en segundos.

$L$  = Tiempo total perdido por ciclo, en segundos.

### Análisis del nivel de servicio de intersecciones con semáforo

El nivel de servicio se define en términos de la demora media por vehículo debido a las detenciones para un periodo de análisis de 15 minutos.

Variables que afectan el retraso:

- La longitud de ciclo.
- La relación del verde.
- La calidad de la progresión.
- La relación volumen a capacidad ( $v/c$ ) para el grupo de carriles en cuestión.

Parámetros que afectan al nivel de servicio:

- La calidad de la progresión.



- La longitud de las fases verdes.
- Promedio de demora de parada por vehículo para varios movimientos dentro de la intersección para un periodo de análisis de 15 minutos. La demora es una medida de calidad del servicio de la vía al usuario.
- Longitudes de ciclo, etc.

Este método plantea 6 niveles de servicio para las intersecciones que se describen a continuación:

- **Nivel de servicio “A”**

Demoras muy bajas en las operaciones, menores a 5 segundos por vehículos. Una gran mayoría de vehículos arriban durante la fase verde y no se detienen del todo. Presentan longitudes de ciclo muy cortas que pueden contribuir demoras mínimas.

- **Nivel de servicio “B”**

Las operaciones con demoras se encuentran en un rango entre 5 segundos y 15 segundos por vehículo. Presentan longitudes de ciclo cortas que pueden contribuir a demoras mínimas.

- **Nivel de servicio “C”**

Este nivel tiene un rango de demora entre 15 segundos hasta 25 segundos por vehículo. La progresión del tránsito comienza a ser regular entonces como resultado se obtienen retrasos elevados. Las longitudes de ciclo comienzan a incrementar. Algunos ciclos comienzan a malograrse y el número de vehículos parados comienza a ser significativo.

- **Nivel de servicio “D”**

El rango de operaciones con demora va desde los 25 segundos hasta los 40 segundos por vehículo. En este nivel D la influencia de congestión se vuelve más visible. Las demoras son un resultado de una progresión de tránsito mala o arribos en la fase roja. Las longitudes de ciclo son amplias y las relaciones de v/c son altas, Muchos vehículos se paralizan, se hacen más notorios los ciclos malogrados.

- **Nivel de servicio “E”**

Describe operaciones con demoras mayores a 40 segundos y menores a 60 segundos por vehículo. Este nivel es considerado por muchas agencias de ser el límite de un retraso aceptable. Los valores altos que están representados en este nivel generalmente indican una pobre progresión, relaciones v/c altas y longitudes de ciclo muy largos.

- **Nivel de servicio “F”**

Operaciones con demoras mayores a 60 segundos por vehículo. Este nivel es considerado inaceptable para una gran parte de conductores, muy seguido ocurre una sobresaturación, que es, cuando los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección. Una pobre progresión y largas longitudes de ciclo presentan muchos ciclos malogrados.

Tabla 1.1 Criterios de nivel de servicio para intersecciones reguladas por semáforo

Nivel de servicio	Demora por parada por vehículo (seg.)
A	$\leq 5.0$
B	$> 5.0$ y $\leq 15.00$
C	$> 15.0$ y $\leq 25.00$
D	$> 25.0$ y $\leq 40.00$
E	$> 40.0$ y $\leq 60.00$
F	$> 60$

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1985)

Observación 1: El nivel de servicio “C” es considerado un objetivo de diseño deseable.

Observación 2: En el nivel de servicio “F” es posible tener demoras inaceptables, mientras la relación v/c sea menor a 1 ( $v/c < 1$ ), posiblemente tan bajo como 0.75 a 0.85, por tanto, pueden ocurrir retrasos altos para esas relaciones de v/c si existiesen las condiciones siguientes:

- a) La longitud de ciclo es larga.
- b) El grupo de carriles en cuestión tiene un tiempo rojo largo.
- c) La progresión de tránsito es pobre.

Observación 3: Un grupo saturado de carriles (relación v/c cercano a 1.0) puede tener demoras bajas si cumple con las siguientes condiciones:

- a) La longitud de ciclo es corta, o
- b) La progresión de tránsito es favorable para el grupo de carriles o ambas.

Observación 4: Cuando la demora es mayor que 1.0, no se puede concluir y se debe realizar estudios más detallados de volúmenes de tránsito, índices de flujos de saturación, entre otras características operacionales.

### **Metodología del análisis operacional de intersecciones con semáforo**

Este análisis determina el nivel de servicio y la capacidad para accesos o grupos de carriles y finalmente el nivel de servicio global de la intersección.

Debido que el análisis operacional es complejo en intersecciones con semáforo, este es dividido en cinco módulos que se describen a continuación:

1. Módulo de entrada: Este módulo hace referencia a toda la información requerida para los cálculos subsecuentes. Incluye los datos sobre la geometría de la intersección, volúmenes de tránsito y condiciones de señalización.
2. Módulo de ajuste del volumen: Las demandas de volumen son generalmente basados en términos de vehículos por hora para una hora pico. El módulo de ajuste de volumen convierte esto a relación de flujo para un periodo de análisis pico de 15 min. y se toma en cuenta para los efectos de la distribución de los carriles. La definición del grupo de carriles para análisis además toma lugar en este módulo.
3. Módulo de flujo de saturación: El flujo de saturación es calculado para cada grupo de carriles establecidos para el análisis. Se tomará en cuenta un flujo de saturación "ideal" para reflejar una variedad de condiciones prevalecientes.
4. Módulo de análisis de capacidad: Las relaciones de flujo de volúmenes y saturación son manipulados para calcular la capacidad y las relaciones v/c para cada grupo de carriles y la relación v/c crítica para la intersección.
5. Módulo del nivel de servicio: Las demoras se estiman para cada grupo de carriles y se determina el nivel de servicio.

## **Módulo de entrada**

Se detalla la información necesaria para el debido análisis operacional. Esta información tiene 4 categorías principales:

1. Condiciones geométricas.
2. Condiciones de tránsito.
3. Condiciones de los semáforos.
4. Valores sustitutivos por omisión.

## **Condiciones geométricas**

Se detallan las especificaciones físicas de la intersección:

- Movimientos por carril.
- Número y ancho de carriles.
- Longitudes de bahías para vueltas.
- Número y ancho de carriles.
- Pendientes de los accesos.

## **Condiciones de tránsito**

Para cada movimiento en cada acceso se consideran los volúmenes de tránsito y la composición de automóviles, autobuses y camiones.

Autobuses urbanos son aquellos que hacen paradas para cualquier tipo de actividad, los buses que no realizan paradas son considerados vehículos pesados.

También se considera los flujos peatonales si estos entran conflicto con los vehículos, debido a que interfiere en los giros a la derecha permitidos.

La calidad de progresión considera el tipo de llegada para cada grupo de carriles. Se detalla a continuación 6 tipos de llegadas:

Llegada 1:

- ✓ Llegada de vehículos al inicio de la fase roja.
- ✓ Volumen del grupo de vehículos en %: más del 80% del volumen del grupo de carriles.
- ✓ Grupo de vehículos densos

Llegada 2:

- ✓ Volumen del grupo de vehículos en %: del 40% al 80% del volumen del grupo de carriles.

- ✓ Grupo de vehículos moderadamente densos.
- ✓ Llegada de vehículos en la mitad de la fase roja o grupo de vehículos dispersos.

#### Llegada 3:

- ✓ Grupo de vehículos altamente dispersos.
- ✓ Volumen del grupo de vehículos en %: menos del 40% del volumen del grupo de carriles.
- ✓ Llegada de vehículos aleatorios.

#### Llegada 4

- ✓ Grupo de vehículos moderadamente densos.
- ✓ Volumen del grupo de vehículos en %: del 40 al 80% del volumen del grupo de carriles.
- ✓ Llegada de vehículos en el medio de la fase verde o grupo de vehículos dispersos.

#### Llegada 5

- ✓ Grupo de vehículos densos o moderadamente densos.
- ✓ Volumen del grupo de vehículos en %: más del 80% del volumen del grupo de carriles.
- ✓ Llegada de vehículos al inicio de la fase verde.

#### Llegada 6

- ✓ Tipo de llegada para una calidad de progresión excepcional.
- ✓ Grupo de vehículos progresivamente densos.

Tabla 1.2 Relación entre el tipo de llegada y la relación de columna ( $R_c$ )

Tipo de llegada	Intervalo de la relación de columna ( $R_c$ )	Valores sustitutos por omisión ( $R_c$ )	Calidad de la progresión
1	$\leq 0.50$	0.333	Muy mala
2	$> 0.50$ y $\leq 0.85$	0.667	Desfavorable
3	$> 0.85$ y $\leq 1.15$	1.000	Llegada de forma aleatoria
4	$> 1.15$ y $\leq 1.50$	1.333	Favorable
5	$> 1.50$ y $\leq 2.00$	1.667	Altamente favorable
6	$> 2.00$		Excepcional

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1985)

### Condiciones de los semáforos

Se tendrá que detallar el diagrama de fases, el tiempo del semáforo en verde, el tiempo amarillo y las longitudes de ciclo para cada uno de los accesos estudiados.

## Valores sustitutos por omisión

Tabla 1.3 Valores sustitutos por omisión para los análisis de la circulación y de planeamiento

Característica	Valor sustitutivo por omisión
<b>Circulación</b>	
Intensidad de saturación ideal	1900 veh/hv/c
Volumen peatonal en conflicto (considere nulo salvo que los datos de campo indiquen lo contrario)	Ninguno: 0 pt/h Bajo: 50 pt/h Moderado: 200 pt/h Alto: 400 pt/h
Porcentaje de vehículos pesados	2
Inclinación (porcentual)	0
Número de autobuses con parada	0/h
Condiciones de estacionamiento	Sin estacionamiento
Maniobras de estacionamiento	20/h
Tipo de llegada	
Grupos de carriles con movimientos de paso, de frente o recto	3 si es aislado 4 si es coordinado*
Grupo de carriles sin movimientos de paso, de frente o recto	3
Factor de hora punta	0.9
Factor de utilización de carril	Véase la Tabla N° 5.46
<b>Instalación y Semaforización</b>	
Tipo de semaforización	De tiempos fijos
Duración del ciclo	60 - 120 seg.
Tiempo perdido	3.0 seg./fase
Amarillo más todo rojo	4.0 seg./fase
Tipo de área	Fuera del centro urbano
Ancho de carril	3.60 m.
* Generalmente pueden lograrse mejores tipos de llegada con un diseño de progresión favorable.	

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1985)

En la tabla se presentan valores sustitutos por omisión cuando los datos no están disponibles, en ocasiones estos valores generan un no ajuste a la base, condiciones ideales, pero esto no es cierto para cada valor sustitutivo por omisión.

## Módulo de ajuste de volúmenes

Se desarrolla en tres pasos detallados, a continuación:

1. Para convertir volúmenes de flujo se puede realizar por periodos de 15 minutos a través del factor de hora de máxima demanda. (Ver expresión 1.12)

$$v_p = \frac{V}{FHMD} \quad (1.12)$$

Donde:

$v_p$  = Tasa de flujo durante el periodo de 15 minutos pico, (veh/h).

$V$  = Volumen horario, (veh/h).

$FHMD$  = Factor de hora de máxima demanda.

2. Determinación del grupo de carriles para el análisis
  - Se definen grupos de carriles separados cuando tenga bahías exclusivas de vuelta a la izquierda y a la derecha, los demás carriles se consideran simples.
  - Carril exclusivo de vuelta a la izquierda, cuando se tenga carriles de vuelta a la izquierda compartidos, se deberá verificar los volúmenes de vuelta a la izquierda del carril compartido, lo mismo se aplica en carriles de giro a la derecha.
  - Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de la extrema izquierda es menor que el flujo promedio en los demás carriles, se supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un grupo de carriles simple.
  - Cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de la extrema izquierda es mayor que el flujo promedio en los demás carriles, el carril izquierdo se debe designar como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda en un grupo de carriles separado.

$$V_I < \frac{V_a - V_I}{N - 1} \quad (1.13)$$

$$V_I \geq \frac{V_a - V_I}{N - 1} \quad (1.14)$$



Donde:

$V_l =$  flujo actual de vuelta a la izquierda, (veh/h).

$V_a =$  Flujo total en el acces, (veh/h).

$N =$  Número de carriles en el acceso

Observación 1: Si cumple la desigualdad, el carril extremo izquierdo es un carril compartido y se usa un solo grupo de carriles para todo el acceso.

Observación 2: Si cumple la desigualdad, el carril extremo izquierdo es un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y será un grupo separado

Tabla 1.4 Grupos de carriles habituales para su análisis

Número de Carriles	Movimientos por carril	Posibilidades de los grupos de carriles
1	MI + MF + MD	① Acceso de un solo carril
2	MI EXC MF + MD	②
2	MI + MF MF + MD	① ó ②
3	MI EXC MF MF + MD	② ó ③

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

### 3. Asignación de volúmenes a grupos de carriles

Debido a que los volúmenes no son equitativos entre carriles de un mismo movimiento, por lo tanto, el flujo ajustado será:

$$v_i = v_{gi}U_i \quad (1.15)$$

Donde:

$v_i$  = Flujo de demanda ajustado en el grupo de carriles "i", (veh/h).  
 $v_{gi}$  = Flujo de demanda no ajustado en el grupo de carriles "i", (veh/h).  
 $U_i$  = Factor de utilización de carriles "i" (tiene valores de 1.00, 1.05 y 1.10 para uno, dos, tres o más carriles en el grupo).

Tabla 1.5 Factores sustitutivos por omisión de utilización de carril

Movimientos del grupo de carriles	Número de carriles en el grupo de carriles	Porcentaje de tránsito que soporta el carril más transitado	Factor de utilización de carril (U)
De frente o compartido	1	100.0	1.00
	2	52.5	1.05
	3 <sup>a</sup>	36.7	1.10
Giro a la izquierda exclusivo	1	100.0	1.00
	2 <sup>a</sup>	51.5	1.03
Giro a la derecha exclusivo	1	100.0	1.00
	2 <sup>a</sup>	56.5	1.13

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

<sup>a</sup> Cuando se cuenta con más carriles de los que se presenta se recomienda realizar un estudio de campo, para el grupo de carriles específicos.

**Módulo de flujo de saturación**

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = s_0(N)(f_A)(f_{VP})(f_P)(f_E)(f_B)(f_L)(f_{MD})(f_{MI}) \quad (1.16)$$

Donde:

$s$  = Flujo de saturación de carriles, expresado como el total para todos los carriles del grupo, bajo condiciones prevalecientes (veh/h).

$s_0$  = Flujo de saturación en condiciones ideales, tomando usualmente como 1800 vehículos ligeros por hora de luz verde por carril, (vl/hv/c).

$N$  = Número de carriles del grupo.

$f_A$  = Factor de ajuste por efecto de ancho de carril.

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

$f_P$  = Factor de ajuste por pendiente del acceso.

$f_E$  = Factor de ajuste por la existencia de carriles de estacionamiento adyacentes al grupo de carriles, y la actividad de estacionamiento en ese carril.

$f_B$  = Factor de ajuste por paradas de autobuses.

$f_L$  = Factor de ajuste por localización de la intersección.

$f_{MD}$  = Factor de ajuste por vueltas a la derecha de carriles.

$f_{MI}$  = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda de carriles.

Tabla 1.6 Factor de ajuste por ancho de carril ( $f_A$ )

Ancho medio de carril, A (m.)	Factor de ancho de carril, $f_A$
2.4	0.867
2.7	0.900
3.0	0.933
3.3	0.967
3.6	1.000
3.9	1.033
4.2	1.067
4.5	1.100
4.8	1.133

Nota:  $f_A = 1 + \frac{A - 3.6}{9}$ ;  $A \geq 2.40$  m. (Si  $A$  4.80 m. puede considerarse analizarlo comodos carriles).

Tabla 1.7 Factor de ajuste por vehículos pesados ( $f_{VP}$ )

Porcentaje de vehículos pesados, % VP	Factor de vehículos pesados, $f_{VP}$
0	1.000
2	0.980
4	0.962
6	0.943
8	0.926
10	0.909
15	0.870
20	0.833
25	0.800
30	0.769
35	0.741
40	0.714
45	0.690
50	0.667
75	0.571
100	0.500

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

Nota:  $f_{VP} = \frac{100}{100 + \%VP(E_c - 1)}$ ;  $0 \leq \%VP \leq 100$ , donde  $E_c = 2.0$  vehículos ligeros por vehículos pesados).

Tabla 1.8 Factor de ajuste por pendiente del acceso

Inclinación, %i		Factor de inclinación
Tipo	Porcentaje	
Bajada	-6 ó inferior	1.030
	-4	1.020
	-2	1.010
A nivel	0	1.000
Subida	+2	0.990
	+4	0.980
	+6	0.970
	+8	0.960
	+10 ó superior	0.950

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

$$Nota: f_p = 1 - \frac{\%i}{200}; -6 \leq \%i \leq +10$$

Tabla 1.9 Factor de ajuste por estacionamiento ( $f_E$ )

Número de carriles en el grupo de carriles N	Sin estacionamiento	Número de maniobras de estacionamiento por hora, $N_m$				
		0	10	20	30	40 <sup>a</sup>
1	1.000	0.900	0.850	0.800	0.750	0.700
2	1.000	0.950	0.925	0.900	0.875	0.850
3 <sup>a</sup>	1.000	0.967	0.950	0.933	0.917	0.900

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

$$Nota: f_E = \frac{N - 0.1 - 18N_m/3600}{N}; 0 \leq N_m \leq 180, \quad f_E \geq 0.05$$

**a** Utilice la fórmula cuando haya más de 3 carriles o más de 40 maniobras por hora

Tabla 1.10 Factor de ajuste por paradas de autobuses ( $f_B$ )

Número de carriles en el grupo de carriles N	Número de autobuses que paran por hora, $N_B$				
	0	10	20	30	40 <sup>a</sup>
1	1.000	0.960	0.920	0.880	0.840
2	1.000	0.980	0.960	0.940	0.920
3 <sup>a</sup>	1.000	0.987	0.973	0.960	0.947

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

Nota:  $f_B = \frac{N - 14.4N_B/3600}{N}$ ;  $0 \leq N_B \leq 250$ ,  $f_B \geq 0.05$  *a* Utilice la fórmula cuando haya más de 3 carriles o paren más de 40 autobuses por hora

Tabla 1.11 Factor de ajuste por localización de la intersección ( $f_L$ )

Tipo de área	Factor de tipo de área
Centro urbano (CBD)	0.90
Otras zonas	1.00

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

Tabla 1.12 Factor de ajuste por giros a la derecha ( $f_{MD}$ )

<b>Casos 1-6: Carriles Exclusivos/Compartidos y Fases Protegidas/Permitidas</b>				
$f_{MD} = 1.0 - P_{MD} [0.15 + (PT/2100)(1 - P_{MDA})]$				
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Proporción de MD en el grupo de carriles = 1.00 para carriles excl. de MD (Casos 1-3); < 1.00 para carriles compartidos (Casos 4-6)			
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Proporción de MD que utilizan la fase protegida = 1.00 protección completa sin presencia de peatones; < 1.00 para permitidas con peatones en conflicto			
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Volumen de peatones (pt/h) en conflicto con MD (si $PT > 1700$ , utilícese 1700)			
<b>Caso 7: Acceso de un Solo Carril (toda la circulación del acceso utiliza un solo carril, como se define en la figura N° 5.58)</b>				
$f_{MD} = 0.90 - P_{MD} [0.135 + (PT/2100)]$				
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Proporción de MD en el grupo de carriles			
$0.0 \leq PT \leq 1700$	Volumen de peatones (pt/h) en conflicto con MD (utilice 0 si MD está completamente protegido)			
$f_{MD} = 1.00$ si $P_{MD} = 0.0$				
$f_{MD} \geq 0.05$				
Caso	Rango de variación de las variables			Fórmula Simplificada
	$P_{MD}$	$P_{MDA}$	PT	
1 Carril excl. MD: fase MD prot.	1.0	1.0	0.0	0.85
2 Carril excl. MD: fase MD perm.	1.0	0.0	0.0 - 1700	$0.85 - (PT/2100)$
3 Carril excl. MD: fase MD prot.+perm.	1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1700	$0.85 - (PT/2100)(1 - P_{MDA})$
4 Carril compartido MD: fase MD prot.	0.0 - 1.0	1.0	0.0	$1.0 - P_{MD} [0.15]$
5 Carril compartido MD: fase MD perm.	0.0 - 1.0	0.0	0.0 - 1700	$1.0 - P_{MD} [0.15 + (PT/2100)]$
6 Carril compartido MD: fase MD prot.+perm.	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1700	$1.0 - P_{MD} [0.15 + (PT/2100)(1 - P_{MDA})]$

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

Tabla 1.13 Factor de ajuste por giros a la izquierda ( $f_{MI}$ )

Caso	Tipo de grupo de carriles	Factor de giro a la izquierda, $f_{MI}$						
1	Carril exclusivo MI; Fases Protegidas	0.95						
2	Carril exclusivo MI; Fases Permitidas	Procedimiento especial; véase formulario de la figura 9-17 o 9-18 (HCM -85)						
3	Carril exclusivo MI; Fases Protegidas y Permitidas	Aplíquese el caso 1 a la fase protegida Aplíquese el caso 2 a la fase permitida						
4	Carril compartido MI; Fase Protegida	$f_{MI} = 1.0 / (1.0 + 0.05 P_{MI})$						
		Proporción de giros a la izquierda, $P_{MI}$						
		Factor	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
5	Carril compartido MI; Fase Permitida	Procedimiento especial; véase formulario de la figura 9-17 o 9-18 (HCM -85)						
6	Carril compartido MI; Fases Protegidas y Permitidas	$f_{MI} = (1400 - Q_o) / [(1400 - Q_o) + (235 + 0.435 Q_o) P_{MI}]$ , $Q_o \leq 1220 \text{ veh/h}$ $f_{MI} = 1 / [1 + 4525 P_{MI}]$ , $Q_o \geq 1220 \text{ veh/h}$						
		Volumen en sentido opuesto, $Q_o$	Proporción de giros a la izquierda, $P_{MI}$					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
		200	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.78
		400	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70
		600	1.00	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61
		800	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.49
1000	1.00	0.74	0.58	0.48	0.41	0.36		
1200	1.00	0.55	0.38	0.29	0.24	0.20		
$\geq 1200$	1.00	0.52	0.36	0.27	0.22	0.18		

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM – 1985)

### Análisis de capacidad

- Con la siguiente expresión se calcula la capacidad para cada acceso o grupo de carriles:

$$c_i = s_i (g_i / C) \quad (1.17)$$

- Para calcular la relación de volumen a capacidad ( $v/c$ ), se define la siguiente expresión:



$$X_i = (v/c)_i = \frac{v_i}{(s_i g_i / C)} = (V/S)_i (g_i / C) \quad (1.18)$$

- Para el cálculo de saturación crítica se tiene la siguiente expresión:

$$X_c = \frac{C}{C-L} \left[ \sum_i (v/s)_{ci} \right] \quad (1.19)$$

### Módulo del nivel de servicio

Para determinar el nivel de servicio de un carril o grupos de carril se realiza mediante el cálculo de la demora media por detenciones por vehículo, a continuación, se detalla el procedimiento a seguir:

- **Demora uniforme ( $d_{li}$ ):** Esta situación ocurre cuando los vehículos llegan uniformemente distribuidos, se calcula con la siguiente expresión:

$$d_{li} = 0.38C \frac{[1 - (g_i / C)]^2}{[1 - (g_i / C)X_i]} \quad (1.20)$$

Donde:

$d_{li}$  = Demora uniforme para el grupo de carriles "i", (s/veh).

$C$  = Longitud de ciclo del semáforo, en segundos.

$X_i = (v/c)_i$  = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles i.

$g_i$  = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles i, en segundos.

- **Demora incremental ( $d_{2i}$ ):** En esta sección considera llegadas aleatorias, es así como alguno de los ciclos se puede saturar, se calcula con la siguiente expresión:

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + (16X_i/c_i)} \right] \quad (1.21)$$

Donde:

$d_{2i} =$  Demora incremental para el grupo de carriles  $i$ , (s/veh).  
 $X_i = (v/c)_i =$  Grado de saturación para un acceso o grupo de carriles  $i$ :  
 $c_i =$  Capacidad del acceso o grupo de carriles " $i$ ", (veh/h).

- **Demora total ( $d_i$ ):** Para un grupo de carriles " $i$ " se expresa como:

$$d_i = d_{li} + d_{2i} \quad (1.22)$$

Donde:

$d_i =$  Demora total para el grupo de carriles " $i$ ", (s/veh).  
 $d_{li} =$  Demora uniforme para el grupo de carriles " $i$ ", (s/veh).  
 $d_{2i} =$  Demora incremental para el grupo de carriles " $i$ ", (s/veh).

- **Demora total ajustada ( $d_{ia}$ ):** En la mayoría de los casos es necesario ajustar la demora total debido a que las llegadas de vehículos a veces se realizan de manera progresiva de los semáforos y otros factores:

$$d_{ia} = d_i(FP) \quad (1.22)$$

Donde:

$d_{ia} =$  Demora ajustada para el grupo de carriles " $i$ ", (s/veh).  
 $d_i =$  Demora total para el grupo de carriles " $i$ ", (s/veh).  
 $FP =$  Factor de ajuste por efecto de la progresión de los semáforos. (Tabla)

- **Demora en cualquier acceso ( $D_A$ ):** Promedio de las demoras totales de todos los grupos de carriles, se calcula con la siguiente expresión:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} \quad (1.23)$$

Donde:

$d_A =$  Demora en cualquier acceso. (s/veh).

$n_A =$  Número de grupos de carriles en el acceso A.

$d_{ia} =$  Demora ajustada para el grupo de carriles "i", (s/veh).

$v_i =$  Flujo de demanda ajustado en el grupo de carriles "i", (veh/s).

Tabla 1.14 Factor de ajuste (FD) por demora uniforme

Factor de ajuste por tipo de regulación (FD)						
Tipo de control	Intersecciones no coordinadas			Intersecciones coordinadas		
Prefijada (ningún grupo de carriles es accionado por el tránsito)	1			FP según se calcula a continuación		
Semiaccionada: Grupo de carriles accionados por el tránsito.	0.85			1.0		
Grupo de carriles no accionados.	0.85			FP según se calcula a continuación		
Totalmente accionada (todos los grupos de carriles son accionados por el tráfico).				Trátase como semiaccionado		
Factor de ajuste por progresión FP						
FP = (1-P)f <sub>c</sub> /(1-g/C)						
Relación de verde (g/C)	Tipo de llegada					
	T L1-1	T L1-2	T L1-3	T L1-4	T L1-5	T L1-6
0.20	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.000	0.985	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.000	0.767	0.000	0.000
0.60	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.70	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
Sustitutivo por omisión, f <sub>c</sub>	1.000	0.93	1.00	1.15	1.00	1.00
Sustitutivo por omisión, R <sub>c</sub>	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000
Término de calibración de la demora incremental, m	8	12	16	12	8	4

Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1985)

Nota:

1. La tabulación se basa en valores sustitutos por omisión de f<sub>c</sub> y R<sub>c</sub>

2.  $P = R_c g/C$  (no puede exceder de 1.0)
3. FP puede no exceder de 1.0 en los T L1-3 a T L1-6.

- Demora en la intersección ( $d_I$ ): Se calcula con un promedio ponderado de las demoras de todos los accesos de la intersección, con la siguiente expresión:

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^T (d_A V_A)}{\sum_{A=1}^T V_A} \quad (1.24)$$

Donde:

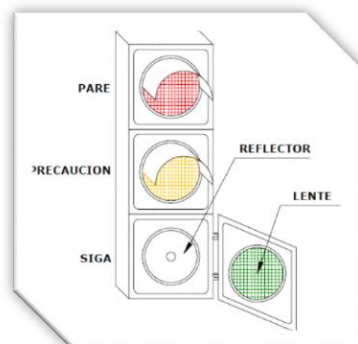
$d_I$  = Demora en la intersección. (s/veh).  
 $d_A$  = Demora en cualquier acceso. (s/veh).  
 $v_A$  = Flujo ajustado del acceso A. (s/veh).  
 $T$  = número de accesos en la intersección.

### Definición de semáforo

Es un dispositivo electrónico que tiene como objetivo indicar cuando se debe circular, cuando no está permitido y el momento de transición en una y otra circunstancia. Estas indicaciones las realiza por medio de colores predeterminados que son los siguientes:

- Verde: Color que indica que tiene paso libre para seguir en marcha.
- Amarillo: Color que indica que el semáforo está por cambiar a rojo.
- Rojo: Indica que debe detener la marcha y esperar.

Figura 1.3 Semáforo



Fuente: Elementos de ingeniería de tráfico, Universidad politécnica de Madrid

Tipos de semáforo para tránsito vehicular

Existen 3 tipos de semáforos:

- Semáforos de tiempo fijo.
- Semáforos accionados por el tráfico.
- Semáforos con control normalizado.

### **Semáforo tiempo fijo**

Estos son los más utilizados en la urbe debido a su sencillez, por otro lado, tienen una coordinación más precisa con los semáforos adyacentes estos no incorporan detectores de tránsito esto hace que su precio sea menor.

### **Semáforos accionados por el tráfico**

Estos semáforos funcionan de manera didáctica debido a que reciben información del tráfico en la intersección y regula los tiempos de duración dependiendo del flujo de cada acceso y así evitar el congestionamiento vehicular.

### **Semáforos con control centralizado**

A diferencia de los anteriores este recibe información de un ordenador central que es el que se encarga de controlar todos los semáforos de una zona determinada. Este ordenador recibe datos de detectores de flujo colocados en zonas estratégicas.

Términos básicos

- Indicación de señal  
Cuando una o varias luces del semáforo se encienden.
- Ciclo o longitud del ciclo  
Tiempo necesario para que el semáforo cumpla con todas las indicaciones predeterminadas.
- Movimiento  
Hace referencia a las maniobras que pueden ser realizadas en un mismo acceso.
- Intervalo  
Tiempo que tarda en cambiar de un color a otro el semáforo
- Fase  
Es la combinación de uno o más movimientos de manera simultánea durante el ciclo del semáforo. Una fase puede referirse a un solo movimiento vehicular, un

solo movimiento peatonal o la combinación de movimientos vehiculares y peatonales.

- Intervalo de despeje

Este se refiere al tiempo amarillo del semáforo que da aviso de precaución para pasar de una fase a otra.

- Intervalo todo rojo

Tiempo de exposición roja a la intersección que pierde el derecho de paso para así dar tiempo al despeje de la vía antes de que la siguiente fase permita el paso a los vehículos.

### Intervalo de cambio de fase

Tiene como función principal alertar a los usuarios un cambio de derecho de paso, se puede calcular de la siguiente manera:

Intervalo

De = Amarillo + Todo rojo  
cambio

$$y = \left( t + \frac{v}{2a} \right) + \left( \frac{W+L}{v} \right) \quad (1.25)$$

$\left( t + \frac{v}{2a} \right)$  = *Tiempo para recorrer la distancia de parada.*

$\left( \frac{W+L}{v} \right)$  = *Tiempo para cruzar la intersección.*

Donde:

y = Intervalo de cambio de fase, amarillo mas todo rojo (s).

t = Tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1 s.)

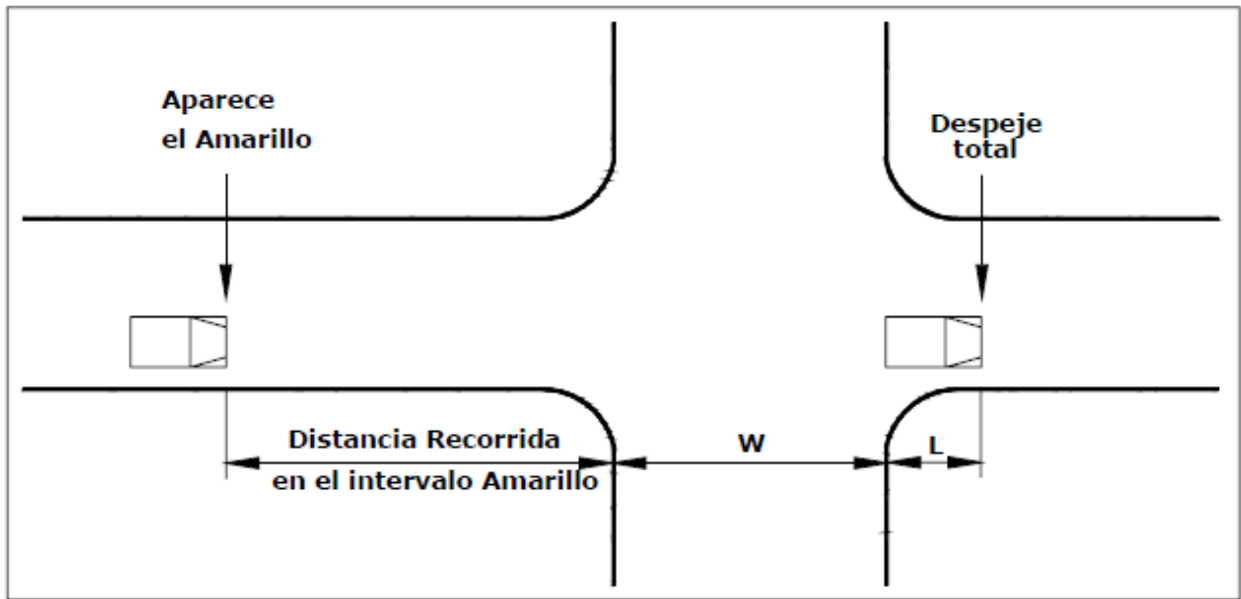
v = Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)

a = Tasa de aceleración (Valor usual 3,05 m/s<sup>2</sup>)

W = Ancho de la intersección (m)

L = longitud del vehículo (valor sugerido 6.10 m)

Figura 1.4 Intervalo de cambio de fase



Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor R & James Cárdenas G.

### Longitud de ciclo

Para calcular la longitud de ciclo óptimo en una intersección semaforizada se tiene la siguiente expresión:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} \beta_i} \quad (1.26)$$

Donde:

$C_0 =$  Tiempo óptimo de ciclo (s).  
 $L =$  Tiempo total perdido por ciclo (s).  
 $\beta_i =$  Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase i  
 $\varphi =$  Número de fases

### Vehículos equivalentes

Los vehículos pesados (camiones, autobuses) tienen características diferentes por lo que se necesita un factor de ajuste que se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{VP} = \frac{100}{100 + P_c(E_c - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (1.27)$$

Donde:

$f_{VP}$  = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.  
 $P_C$  = Porcentaje de camiones.  
 $P_B$  = Porcentaje de autobuses.  
 $P_R$  = Porcentaje de vehículos recreativos.  
 $E_C$  = Automóviles equivalentes a un camión  
 $E_B$  = Automóviles equivalentes a un autobus.  
 $E_R$  = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo.

### Flujos de automóviles directos equivalentes

Las maniobras que realizan los vehículos al momento de girar a la izquierda o derecha consumen mayor tiempo que los vehículos que van de frente por lo que es necesario calcular factores, con la siguiente expresión se puede calcular:

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) (E_V) \quad (1.28)$$

Donde:

$q_{ADE}$  = Flujos de automóviles directos equivalentes  
 $E_V$  = Factor por movimiento de vuelta  
 $VHMD$  = Volumen horario de máxima demanda  
 $FHMD$  = factor horario de máxima demanda  
 $f_{VP}$  = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados



Tabla 1.15 Valores para factores de vehículos equivalentes

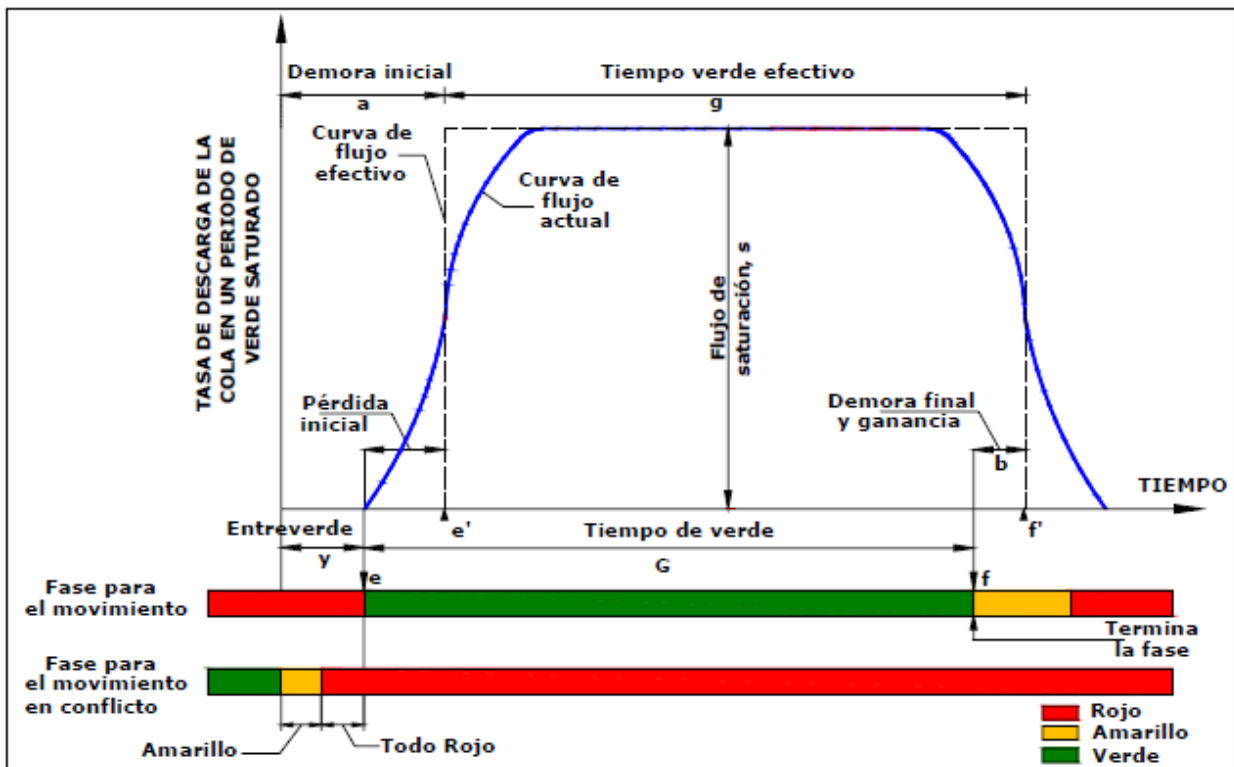
Factor	Valor	Observación
$E_c, E_B$	1.4 a 1.6	Valores comúnmente utilizados, sin embargo, pueden ser mayores
$E_c, E_B$	1.5	Para accesos con pendientes cercanos al 0% con predominio de camiones livianos o medianos
$E_v$	1.4 a 1.6	Para vueltas hacia la izquierda
$E_v$	1 a 1.4	Para vueltas hacia la derecha
FHMD	0.95	Para proyecto y diseño de planes de tiempos del semáforo

Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R. & James cárdenas G.

### Flujo de saturación y tiempo perdido “s”

Es la tasa máxima de vehículos que cruzan la línea de alto, eso sucede cuando hay filas y estas persisten hasta el final del periodo verde, se denomina periodo verde completamente saturado, en la siguiente imagen se expresa las características de este fenómeno.

Figura 1.5 Modelo básico del flujo de saturación



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R. & James cárdenas G.

### Tiempo total perdido por ciclo

$$L = \sum_{i=1}^{\partial} (l_i) + \sum_{i=1}^{\partial} (TR_i) \quad (1.29)$$

Donde:

$TR$  = Tiempo total de todo rojo durante el ciclo en caso de existir

$\partial$  = Número de fases

$l_i$  = Tiempo perdido por fase "i".

### Asignación de tiempos verdes

- Tiempo verde efectivo total ( $g_T$ ):

$$g_T = C - L = C - \left[ \left( \sum_{i=1}^{\partial} l_i \right) + TR \right] \quad (1.30)$$

Donde:

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

$C$  = Longitud actual del ciclo (redondeando  $C_0$  a los 5 segundos mas próximos)

- Demora total mínima

El tiempo verde efectivo total, se distribuye entre las fases en proporción a sus valores de  $\beta_i$ .

$$g_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} \beta_i} \times g_T \quad (1.31)$$

Donde:

$\beta_i =$  *Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de cada fase "i".*

$\varphi =$  *Número de fases.*

- Tiempo verde real ( $G_i$ ), para cada fase "i"

$$G_i = g_i + l_i - A_i \quad (1.32)$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, \varphi$

$g_i =$  *Tiempo verde efectivo en la fase "i"*

$l_i =$  *Tiempo perdido por fase "i"*

$A_i =$  *Tiempo color amarillo en la fase "i"*

## Simuladores

La simulación del tráfico permite tener conocimiento de la situación actual de la zona de estudio y así facilitar la toma de decisiones con respecto a diferentes temas como lo son cambios de infraestructura, cambios de políticas entre otros, antes de ser implementados en las vías.

Los gráficos, variables y el método que se va a utilizar para este caso de estudio de movilidad en la ciudad de Durán se realizaron mediante la interfaz de SUMO.

Sumo es un simulador de código abierto disponible desde el año 2001 que permite el modelado del tráfico tanto para transporte público, privado y peatones, el programa incluye importantes herramientas con la capacidad de realizar tareas tales como importación de red, búsqueda de ruta, visualización, cálculo de emisiones, entre otros.

Una de las opciones con mayor envergadura es que permite importar mapas desde la plataforma OpenStreetMap que es de gran ayuda al momento de simular una situación real de movilidad vehicular.

## **OpenStreetMap**

Se define como una plataforma de ayuda para crear o editar mapas de una manera libre según necesite el usuario.

Los mapas se crean de manera vectorial para su fácil manejo y edición, empleando información geográfica de fuentes libres como son los GPS de los teléfonos móviles, ortofotografías, entre otros.

Para poder contribuir en la plataforma el usuario tiene que estar registrado y así tener la facilidad de crear o corregir trazos mediante la herramienta de edición, es así como la plataforma agrega aproximadamente 90000 [km] de vías semanalmente llegando a tener un tamaño de base de datos cerca de 800 GB.

## **Tipos de simulación**

Cuando se quiere desarrollar una simulación de movilidad vehicular se debe considerar que resultado queremos obtener y que elementos se van a necesitar para poder seleccionar el tipo de simulación que se va a aplicar, tomando en cuenta que mientras más específico queremos los resultados aumenta los recursos que se van a utilizar.

Existen tres tipos de simulación:

- Simulación microscópica
- Simulación mesoscópica
- Simulación macroscópica

De los tipos de simulación mencionados anteriormente este proyecto se enfoca en dos específicamente que son la macroscópica que se utilizara con los datos obtenidos de la matriz origen y destino donde solo se definen los patrones de los tipos de viaje que se realizan y la microscópica en donde se utiliza los datos de los aforos manuales que se realizaran en Durán.

## **Simulación microscópica**

Entidades discretas individuales y atómicas que interactúan unas con otras, para nuestro caso en cada vehículo. Esta se basa en números aleatorios para generar vehículos, seleccionar rutas y determinar comportamiento de los vehículos. Son modelos por lo general discretos.

**Simulación mesoscópica**

Se enfocan en las probabilidades por tanto definen una función que expresa la probabilidad de que un vehículo a determinada velocidad se encuentre en cierto tiempo en una determinada posición, ya sea en determinado carril, intersección, etc. Utilizan métodos de mecánica estadística.

**Simulación macroscópica**

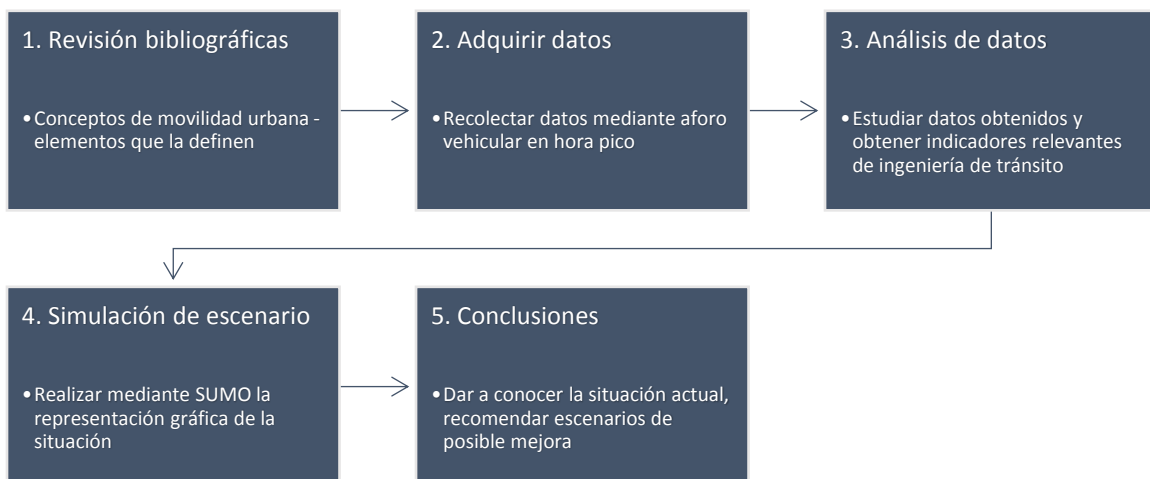
Se enfoca en captar relaciones globales de flujo de tráfico vehicular, tales como la velocidad, la tasa de flujo y la densidad vehicular. Una ventaja de los modelos de tráfico macroscópicos es que permiten simular satisfactoriamente las dinámicas en diferentes carriles usando los modelos de un solo carril considerando probabilidades de rebase. Son modelos continuos que hacen uso de ecuaciones diferenciales.

# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología

Para efectuar el siguiente proyecto de titulación se empleará la metodología mencionada a continuación:

Figura 2.1 Metodología



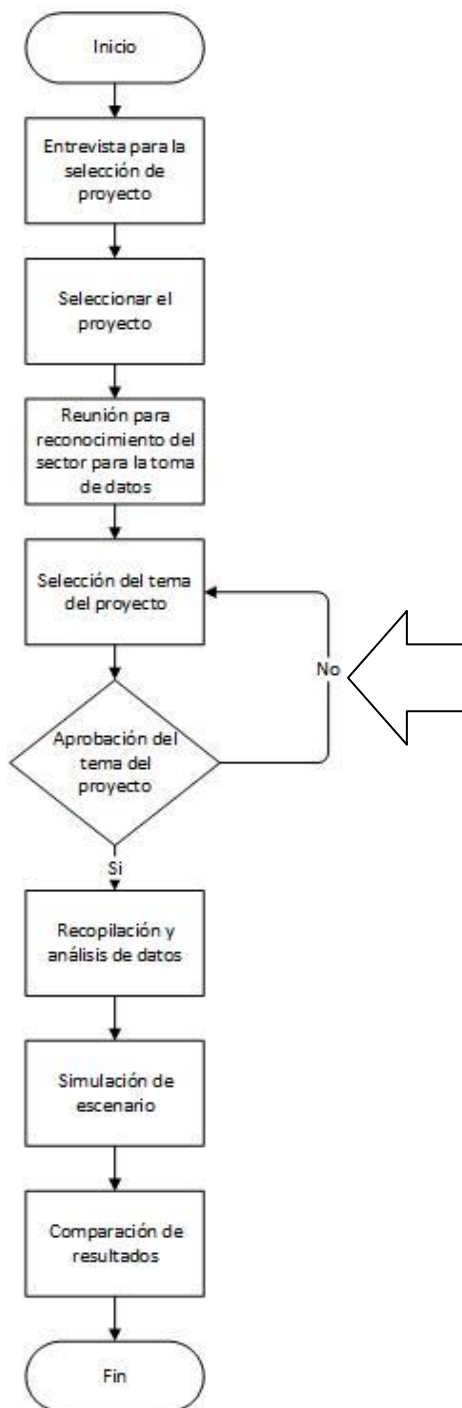
Fuente: Autor

1. Revisiones bibliográficas. – Se comienza por revisar la mayor cantidad de literatura de origen académico relacionada al tema de movilidad vehicular para así conocer conceptos que ayudaran a identificar problemas y formas de evaluar y dar alternativas.
2. Adquirir datos. – En una de las intersecciones principales de Durán (Avenida Nicolás Lapentti y Jaime Nebot Velasco) se tomaron datos en el horario de 7 am a 8 am con ayuda de contadores manuales los cuales permitieron disminuir el margen de error al momento de realizar dicha tarea.

3. Análisis de datos. – Con los datos recopilados se comienza a descifrar si siguen una tendencia o distribución, se identifica el FHMD, parámetros e indicadores que nos ayuden a comprender la problemática si la hubiera.
  
4. Simulación de escenario. – Mediante el análisis de los datos y el resultado obtenido se incorpora esta información a uno de los simuladores de tránsito que por motivos de conveniencia se utiliza en este proyecto y así representar de manera gráfica la situación actual de dicha intersección.
  
5. Conclusiones. – Con el análisis de datos y la simulación de escenarios realizados, se llega a conclusiones basados en los resultados encontrados durante estas dos fases.

## 2.1 Estrategia general del proyecto

Figura 2.2 Estrategia general del proyecto



### **Entrevista para la selección del proyecto:**

Esta es la primera etapa donde se les informa a los estudiantes los proyectos que pueden realizar.

**Seleccionar proyecto:** El estudiante elige uno de los proyectos según sus destrezas y según el conocimiento que quiera aplicar.

**Reunión para el reconocimiento del sector de toma de datos:** Antes de comenzar con el trabajo el equipo realiza una visita al punto de estudio para definir estrategias al momento de tomar los datos.

**Selección del tema de proyecto:** Al comenzar con el estudio del proyecto se necesita definir el título que debe ser relevante a todo el estudio que se va a realizar.

**Aprobación del título:** Una vez propuesto el título del proyecto pasa por una revisión, tiene que estar bien definido para pasar a la siguiente etapa.

**Recopilación y análisis de datos:** La recopilación de datos se realiza mediante aforos vehiculares de forma manual y el análisis de datos tiene como referencia la bibliografía de ingeniería de tránsito.

**Simulación de escenario:** Mediante el software Sumo se realiza la simulación actual del tránsito en Durán.

**Resultados:** Después del análisis y la simulación se presentan los resultados y

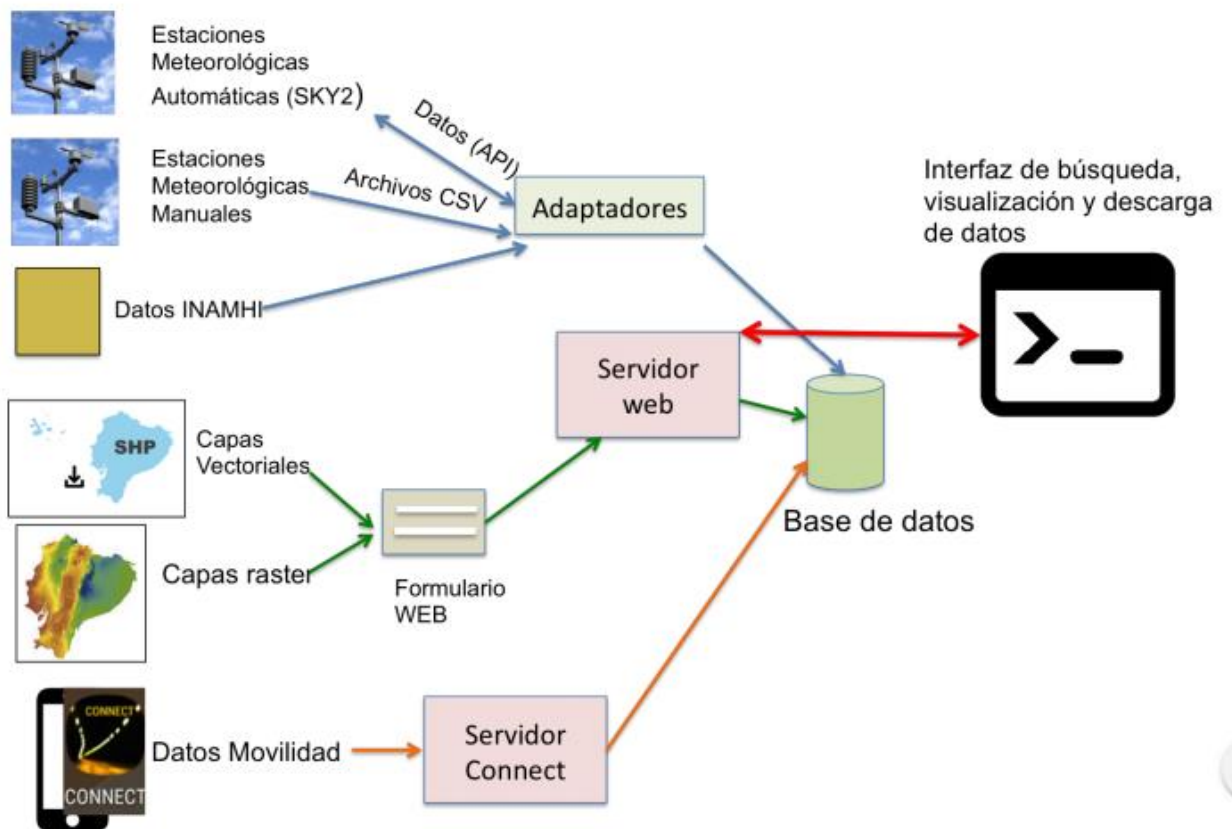
**Fuente: Autor**



## 2.2 Organigrama general del proyecto

A continuación, se presenta la estructura general del proyecto que se adquirió en las reuniones realizadas por el grupo encargado y en base al trabajo y análisis realizado por cada integrante.

Figura 2.3 Diagrama general del proyecto



Fuente: Autor

# CAPÍTULO 3

## 3. Resultados y análisis

Para realizar el análisis de los datos obtenidos en los aforos de tráfico que hemos realizado utilizamos el software Microsoft Excel.

A partir de nuestro análisis hemos podido determinar el volumen de tráfico, así como también la composición vehicular que pasa por la avenida principal de Durán durante las horas pico que hemos tomado, desde las 7 am hasta las 8 am.

**Tabla 3.1 Flujo de vehículos promedio entre semana de Durán a Guayaquil**

Flujo \ Periodo	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
	7:00 - 7:15	7:15 - 7:30	7:30 - 7:45	7:45 - 8:00
Flujo 1	783	812	921	677

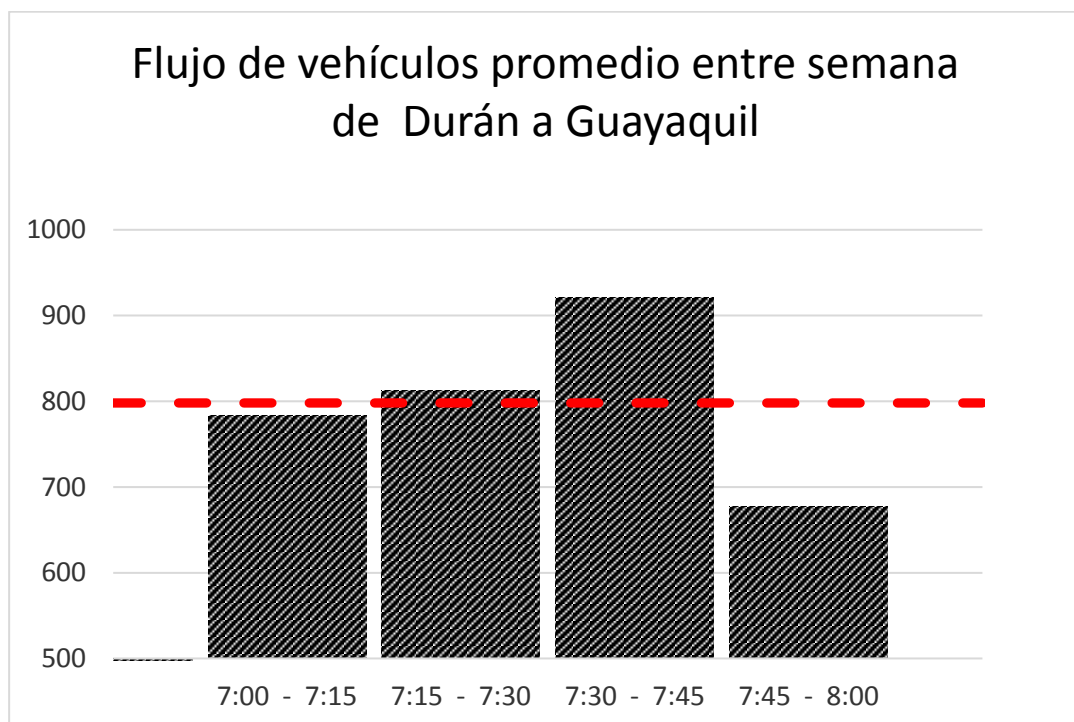
Fuente: Autor

Demanda promedio: **798** vehículos en un periodo de 15 minutos

**Cálculo del FHMD desde Durán a Guayaquil**

$$FHMD_{D-G} = \frac{Volumen}{4 * Máximo flujo} = \frac{3192}{4 * 921} = 0.87$$

**Figura 3.1 Flujo de vehículos promedio entre semana de Durán a Guayaquil**



Fuente: Autor

**Tabla 3.2 Flujo de vehículos entre semana de Guayaquil a Durán**

Flujo \ Periodo	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
	7:00 - 7:15	7:15 - 7:30	7:30 - 7:45	7:45 - 8:00
Flujo 1	571	609	646	639

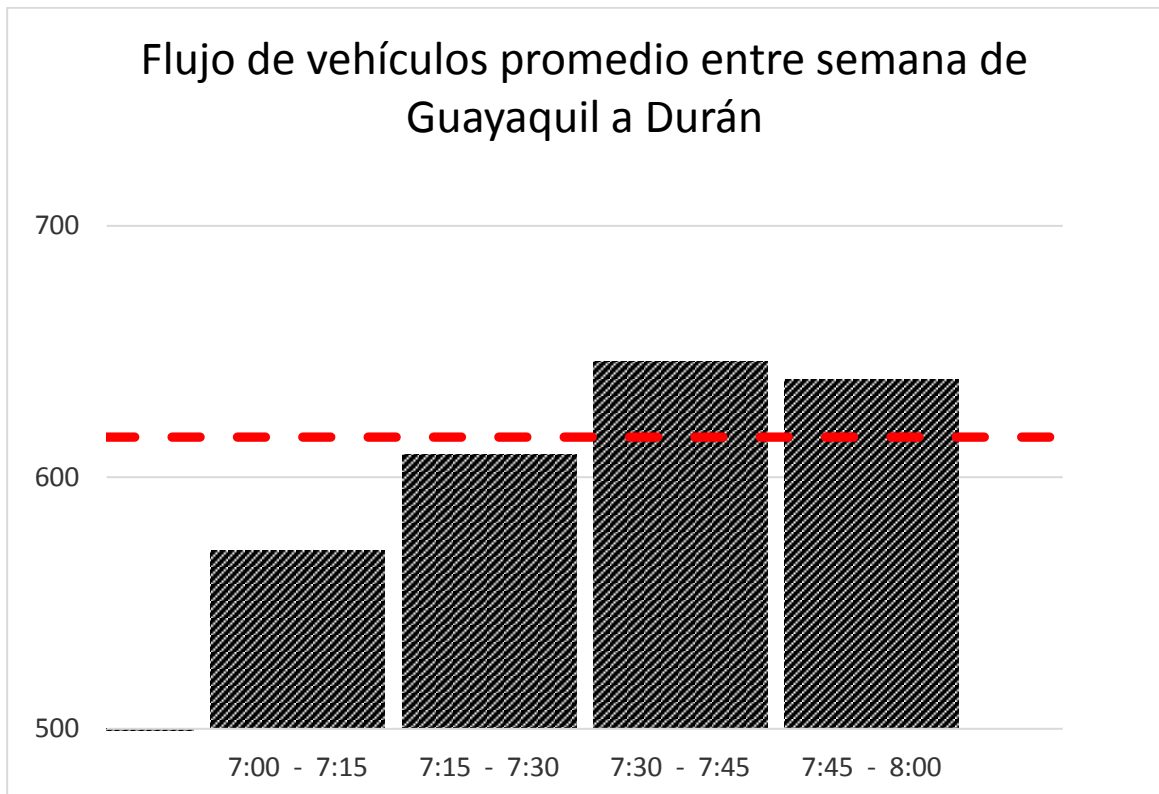
Fuente: Autor

Demanda promedio: **616** vehículos en un periodo de 15 minutos

**Calculo del FHMD desde Guayaquil a Durán**

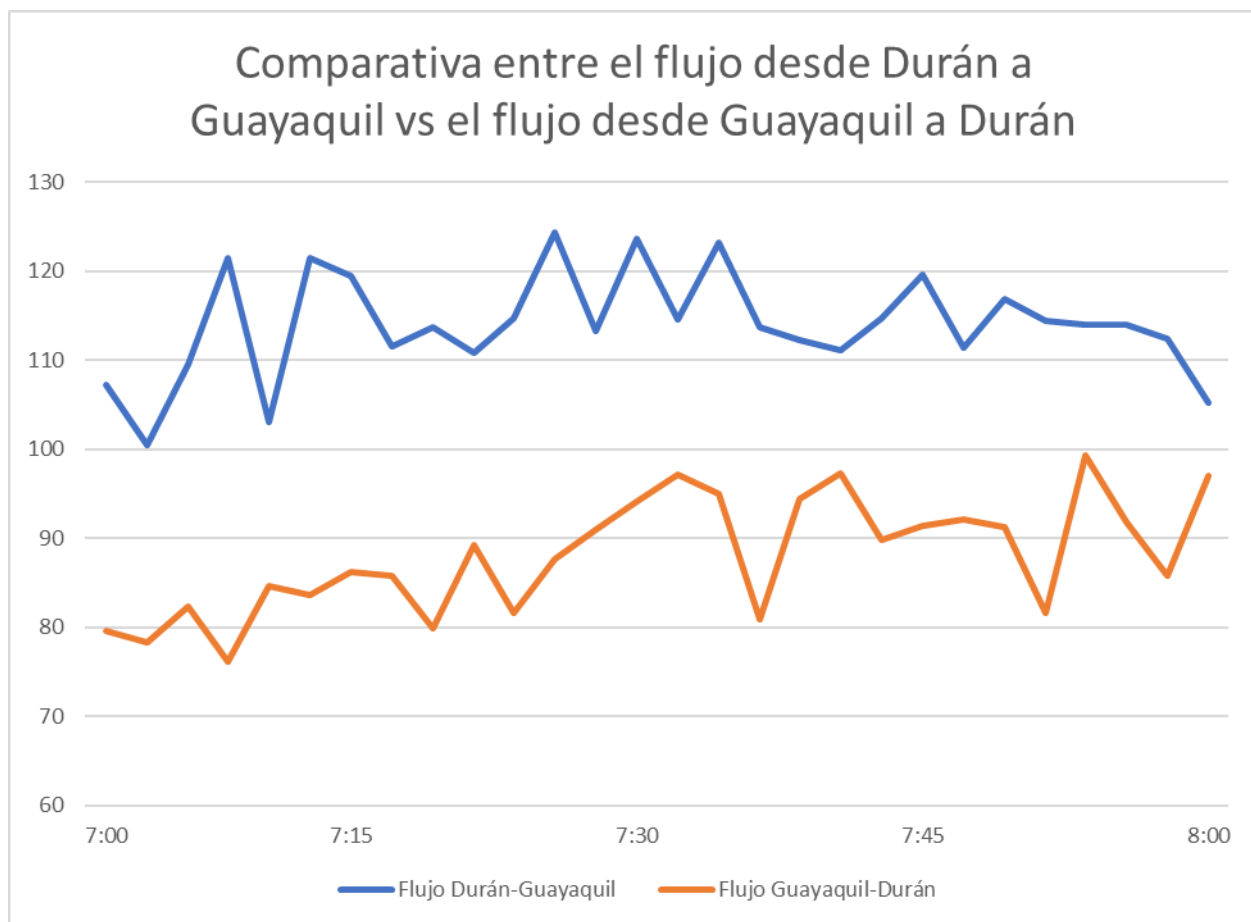
$$FHMD_{G-D} = \frac{Volumen}{4 * Máximo flujo} = \frac{2464}{4 * 646} = 0.95$$

**Figura 3.2 Flujo de vehículos promedio entre semana de Guayaquil a Durán**



Fuente: Autor

**Figura 3.3 Gráfica comparativa entre el flujo desde Durán a Guayaquil vs flujo de Guayaquil a Durán**



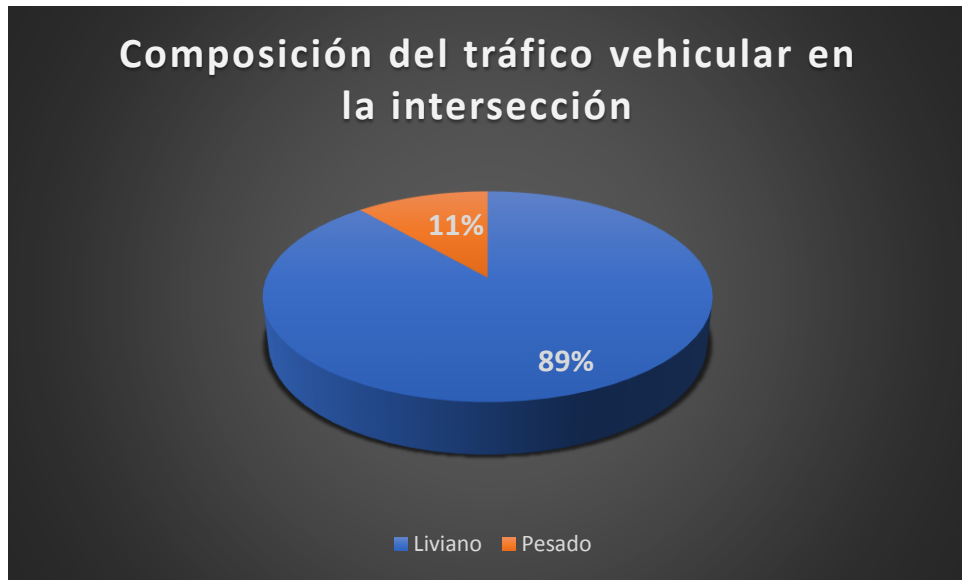
**Fuente: Autor**

**Tabla 3.3 Composición vehicular**

	Porcentaje	Volumen
<b>Liviano</b>	89%	5918
<b>Pesado</b>	11%	759
<b>TOTAL</b>	100%	6678

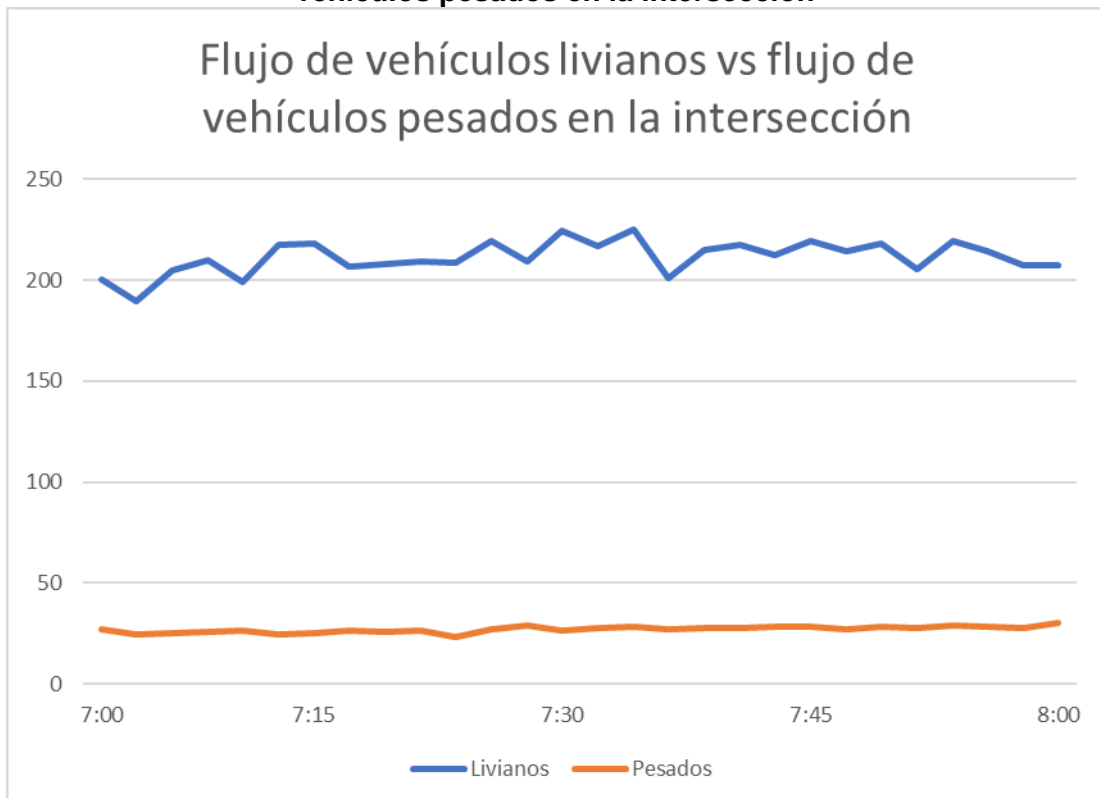
**Fuente: Autor**

Figura 3.4 Gráfica de la composición del tráfico vehicular desde Durán hacia Guayaquil



Fuente: Autor

Figura 3.5 Gráfica comparativa entre el flujo de vehículos livianos vs el flujo de vehículos pesados en la intersección



Fuente: Autor

## Cálculo para el ajuste de volumen

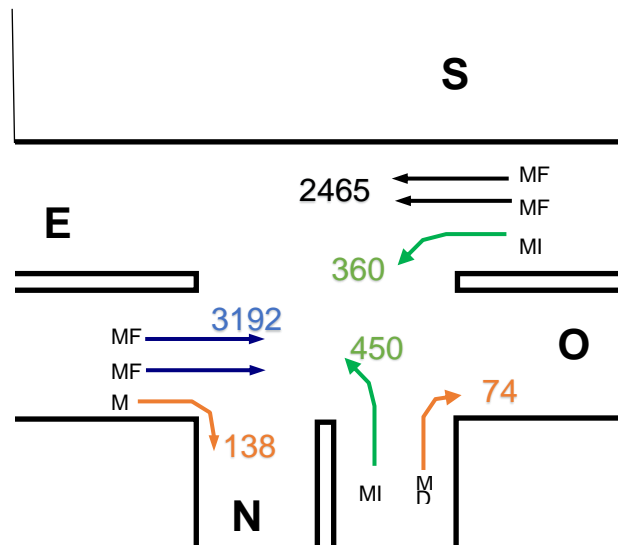
Datos de la intersección

Tabla 3.4 Volumen vehicular en la intersección

Movimiento Tipo vehículo	MD Sentido E-N Vehículos promedio	MF Sentido E-O Vehículos promedio	MD Sentido N-O Vehículos promedio	MI Sentido O-N Vehículos promedio	MF Sentido O-E Vehículos promedio	MI Sentido N-E Vehículos promedio
Liviano	126	2883	70	340	2087	413
Pesado	12	309	4	20	378	37
Total	138	3192	74	360	2465	450

Fuente: Autor

Figura 3.6 Representación gráfica volumen vehicular



Fuente: Autor

Tabla 3.5 Flujo por periodo de 15 minutos

	Norte			Oeste			Este		
	MI	MF	MD	MI	MF	MD	MI	MF	MD
1	119	-	21	94	571	-	-	783	31
2	110	-	16	89	609	-	-	812	34
3	107	-	18	88	646	-	-	809	35
4	114	-	18	89	639	-	-	788	38
Máximo	<b>119</b>	-	<b>21</b>	<b>94</b>	<b>646</b>	-	-	<b>812</b>	<b>38</b>

Fuente: Autor

Calcular FHMD

$$FHMD = \frac{Total}{4 * Máximo}$$

$$FHMD_{N-MI} = \frac{450}{4 * 119} = 0.95$$

$$FHMD_{N-MD} = \frac{74}{4 * 21} = 0.88$$

$$FHMD_{O-MI} = \frac{360}{4 * 94} = 0.96$$

$$FHMD_{O-MF} = \frac{2465}{4 * 646} = 0.95$$

$$FHMD_{E-MF} = \frac{3192}{4 * 812} = 0.98$$

$$FHMD_{E-MD} = \frac{138}{4 * 38} = 0.91$$

Tabla 3.6 Resultados de ajuste de volúmenes situación actual

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Acceso	Mov	Vol. del mov. (vph)	FHMD	Flujo Ajustado (vph) "vp" [3/4]	Mov. por grupo de carriles	Flujo de demanda no ajustado por grupo (vph) "vgi"	Número de carriles "N"	Factor de utilización de carril "U" Tabla 1.8	Flujo de demanda ajustado (vph) "vi" [7x9]
Norte	MI	450	0,95	476	I	476	1	1	476
	MF	-	-	-		-	-	-	-
	MD	74	0,88	84	D	84	1	1	84
Oeste	MI	360	0,96	376	I	376	1	1	376
	MF	2465	0,95	2584	F	2584	5	1,1	2842
	MD	-	-	-		-	-	-	-
Este	MI	-	-	-		-	-	-	-
	MF	3192	0,98	3248	F	3248	5	1,1	3573
	MD	138	0,91	152	D	152	1	1	152

Fuente: Autor



Tabla 3.7 Análisis flujo de saturación situación actual

Grupo de carriles				Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. por grupo de carriles	Flujo de saturación ideal (veh/hv/c) "so"	Número de carriles "N"	f <sub>A</sub> tabla N° 1.6	f <sub>VP</sub> tabla N° 1.7	f <sub>P</sub> tabla N° 1.8	f <sub>E</sub> tabla N° 1.9	f <sub>B</sub> tabla N° 1.10	f <sub>L</sub> tabla N° 1.11	f <sub>MD</sub> tabla N° 1.12	f <sub>MI</sub> tabla N° 1.13	Flujo de saturación (Veh/hv) "s" [3x4x5x6x7x8x9x10x11x12]
Norte	I	1800	2	0,967	0,92	1	1	1	0,9	0,88	0,95	2420
	D											
Oeste	I	1800	1	0,967	0,95	1	1	1	0,9	1	0,95	1410
	F	1800	5	0,933	0,87	1	1	1	0,9	1	1	6553
Este	F	1800	6	0,933	0,91	1	1	1	0,9	0,89	1	7359
	D											

Fuente: Autor

Tabla 3.8 Tiempos del semáforo situación actual

Fase N°	Acceso	Tiempo (seg.)			Total
		Verde	Amarillo	Rojo	
1	Norte-Este	25	6	90	121
2	Oeste-Norte	35	6	80	121
3	Oeste-Este	70	6	45	121
4	Este-Oeste	45	6	70	121

Fuente: Autor

Cálculo de relación de verde

- Acceso Norte

$$g_i/C = 25/121 = 0.21$$

- Acceso Oeste-Norte

$$g_i/C = 35/121 = 0.29$$

- Acceso Oeste-Este

$$g_i/C = 70/121 = 0.58$$

- Acceso Este-Oeste

$$g_i/C = 45/121 = 0.37$$

Tabla 3.9 Análisis de capacidad situación actual

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Mov. por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado (veh/h) "v <sub>i</sub> "	Flujo de saturación (veh/hv) "s"	Relación de flujo "(v/s) <sub>i</sub> " [3/4]	Relación de verde "g <sub>i</sub> /C "	Capacidad del grupo de carriles (veh/h) "c <sub>i</sub> " [4*6]	Relación "(v/c) <sub>i</sub> =X <sub>i</sub> " [3/7]	Grado de saturación crítico "X <sub>c</sub> "
Norte	I	476	2420	0,231	0,21	500	1,11986	-
	D	84						
Oeste	I	376	1410	0,267	0,29	408	0,92202	-
	F	2842	6553	0,434	0,58	3791	0,74980	-
Este	F	3573	7359	0,506	0,37	2737	1,36102	-

	D	152							-
--	---	-----	--	--	--	--	--	--	---

Fuente: Autor

Cálculos demora uniforme

$$d_{11} = 0,38C \frac{[1 - (g_i/c)]^2}{[1 - (g_i/c)X_i]} = 0,38 * 121 * \frac{[1 - 0,21]^2}{1 - (0,21 * (476 + 84))} = 37,655 = d_{11}$$

$$d_{12} = 0,38C \frac{[1 - (g_i/c)]^2}{[1 - (g_i/c)X_i]} = 0,38 * 121 * \frac{[1 - 0,29]^2}{1 - (0,29 * 376)} = 31,675 = d_{12}$$

$$d_{13} = 0,38C \frac{[1 - (g_i/c)]^2}{[1 - (g_i/c)X_i]} = 0,38 * 121 * \frac{[1 - 0,58]^2}{1 - (0,58 * 2842)} = 14,426 = d_{13}$$

$$d_{14} = 0,38C \frac{[1 - (g_i/c)]^2}{[1 - (g_i/c)X_i]} = 0,38 * 121 * \frac{[1 - 0,37]^2}{1 - (0,37 * (3573 + 152))} = 36,732 = d_{14}$$

Cálculos demora incremental

$$d_{21} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + (16X_i/c_i)} \right] = 173 * (1,11)^2 \left[ (1,11 - 1) + \sqrt{(1,11 - 1)^2 + \left(16 * \frac{1,11}{500}\right)} \right] = 74,612 = d_{21}$$

$$d_{22} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \left(\frac{16X_i}{c_i}\right)} \right] = 173 * (0,92)^2 \left[ (0,92 - 1) + \sqrt{(0,92 - 1)^2 + \left(16 * \frac{0,92}{408}\right)} \right] = 18,763 = d_{22}$$

$$d_{23} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \left(\frac{16X_i}{c_i}\right)} \right] = 173 * (0,75)^2 \left[ (0,75 - 1) + \sqrt{(0,75 - 1)^2 + \left(16 * \frac{0,75}{3791}\right)} \right] = 0,608 = d_{23}$$

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \left(\frac{16X_i}{c_i}\right)} \right] = 173 * (1,36)^2 \left[ (1,36 - 1) + \sqrt{(1,36 - 1)^2 + \left(16 * \frac{1,36}{2737}\right)} \right] = 234,867 = d_{23}$$

### Demora en el acceso

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(112,268 * 560)}{560} = 112,268 \quad d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(50,438 * 376)}{376} = 50,438$$

Grupo de carriles		1º Término de la demora				2º Término de la demora		Demora del grupo		Demoras Totales y Niveles de Servicio				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Acceso	Mov. por grupo de carriles	Relación "(v/c) <sub>i</sub> =X <sub>i</sub> "	Relación de verde "g <sub>i</sub> /C"	Longitud del ciclo (seg.) "C"	Demora uniforme (s/veh) "d <sub>1i</sub> "	Capacidad del grupo de carriles (veh/h) "c <sub>i</sub> "	Demora incremental (s/veh) "d <sub>2i</sub> "	Factor de ajuste por efecto de la progresión "FP" Tabla Nº 1.14	Demora ajustada para el grupo de carriles (s/veh) "d <sub>ia</sub> "	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla 1.1	Demora en el acceso (s/veh) "d <sub>A</sub> "	Nivel de servicio del acceso Tabla 1.1	Demora global en la intersección	Nivel de servicio de la intersección Tabla 1.1
Norte	I	1,11986	0,21	121	37,655	500	74,612	1,000	112,27	F	112,27	F	91,43	F
	D			121		0		1,000		C		C		
Oeste	I	0,92202	0,29	121	31,675	408	18,763	1,000	50,44	E	50,44	E		
	F	0,74980	0,58	121	14,426	3791	0,608	1,000	15,03	C	15,03	C		
Este	F	1,36102	0,37	121	36,732	2737	234,867	0,555	150,74	F	150,74	F		
	D			121		0				B		B		

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(15,034 * 2842)}{2842} = 15,034 \quad d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(150,738 * 3725)}{3725} = 150,738$$

Tabla 3.10 Análisis del nivel de servicio situación actual

Fuente: Autor

## Análisis del ciclo del semáforo óptimo

Porcentaje de autobuses:

Tabla 3.11 Factor hora máxima demanda por movimiento

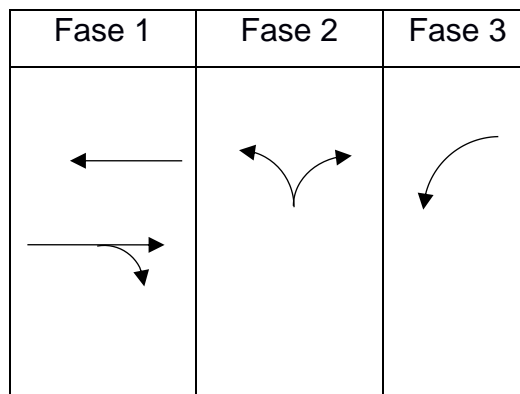
Acceso	Movimiento	P <sub>B</sub> movimiento	Total acceso	FHMD
Norte	MI	8,22	13,63	0,95
	MF	-		-
	MD	5,41		0,88
Oeste	MI	5,56	20,89	0,96
	MF	15,33		0,95
	MD	-		-
Este	MI	-	18,38	-
	MF	9,68		0,98
	MD	8,70		0,91

Fuente: Autor

Automóviles equivalentes:

- 1,5 por Autobuses (E<sub>B</sub>)
- 1,4 por vueltas a la izquierda
- 1,2 por vueltas a la derecha

Figura 3.7 Fases propuestas



Fuente: Autor

Amarillo = A = 3 segundos (para cada fase)

Todo Rojo = TR = 2 segundos (para cada fase)

Tiempo perdido por fase: I = 3 segundos

S<sub>1</sub> = 1800 Automóviles equivalentes por hora de luz verde por carril (ADE)

S<sub>2</sub> = 1800 Automóviles equivalentes por hora de luz verde por carril (ADE)

S<sub>3</sub> = 1800 Automóviles equivalentes por hora de luz verde por carril (ADE)

Número de fases: 3

### Solución:

#### Paso 1

Determinar el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_c(E_c - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Pc y PR toman valor de cero debido a que no se están considerando porcentaje de vehículos pesados y porcentaje de vehículos recreativos respectivamente.

Acceso Norte:

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + 0 + 13,63(1,5 - 1) + 0} = 0,94$$

Acceso Este:

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + 0 + 18,38(1,5 - 1) + 0} = 0,92$$

Acceso Oeste:

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + 0 + 20,89(1,5 - 1) + 0} = 0,91$$

#### Paso 2

Determinar los factores por movimiento

$E_v$  izquierda = 1,4 ADE

$E_v$  derecha = 1,2 ADE

#### Paso 3

Calculo de flujos de automóviles directos equivalentes:

Acceso Norte:

Vuelta a la izquierda

$$q_{vizq} = \frac{VHMD_{vizq}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) (E_{vizq}) = \frac{119}{0,95} \left( \frac{1}{0,94} \right) (1,4)$$

$$q_{vizq} = 186,56$$

Vuelta a la derecha

$$q_{VDer} = \frac{VHMD_{VDer}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) (E_{VDer}) = \frac{21}{0,88} \left( \frac{1}{0,94} \right) (1,2)$$

$$q_{VDer} = 30,46$$

Acceso Este:

Movimiento de frente

$$q_D = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) = \frac{812}{0,98} \left( \frac{1}{0,92} \right)$$

$$q_D = 900,62$$

Vuelta a la derecha

$$q_{VDer} = \frac{VHMD_{VDer}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) (E_{VDer}) = \frac{38}{0,91} \left( \frac{1}{0,92} \right) (1,2)$$

$$q_{VDer} = 45,39$$

Acceso Oeste:

Vuelta a la izquierda

$$q_{Vizq} = \frac{VHMD_{Vizq}}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) (E_{Vizq}) = \frac{94}{0,96} \left( \frac{1}{0,91} \right) (1,4)$$

$$q_{Vizq} = 150,64$$

Movimiento de frente

$$q_D = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) = \frac{646}{0,95} \left( \frac{1}{0,91} \right)$$

$$q_D = 747,25$$



Tabla 3.12 Resultados flujos por fases

	Acceso	Movimiento	VHMD (Automóviles/h )	FHMD	$f_{VP}$	$E_v$ (ADE)	$q_v$ (ADE/h)
Fase 1	Este	MI	-	-	-	-	-
		MF	812	0,98	0,92	1	<b>901</b>
		MD	38	0,91	0,92	1,2	45
Fase 3	Oeste	MF	646	0,95	0,91	1	747
		MI	94	0,96	0,91	1,4	<b>151</b>
		MD	-	-	-	-	-
Fase 2	Norte	MI	119	0,95	0,94	1,4	<b>187</b>
		MF	-	-	-	-	-
		MD	21	0,88	0,94	1,2	30

Fuente: Autor

Los valores con negrita son los flujos críticos por acceso

#### Paso 4

Cálculo de la longitud de los intervalos de cambio para cada fase

Amarillo = A = 3s.

Todo Rojo = TR = 2s.

(Para cada fase)

#### Paso 5

Tiempo perdido por fase ( $l_i$ )

$$L_i = A_i$$

$$L = A = 3 [s]$$

(Para cada fase)

#### Paso 6

Tiempo perdido por ciclo (L)

$$L = \sum_{i=1}^{\partial} (l_i) + \sum_{i=1}^{\partial} (TR_i) = \sum_{i=1}^3 (l_i) + \sum_{i=1}^3 (TR_i)$$

$$L = (3 + 3 + 3) + (2 + 2 + 2)$$

$$L = 15 [s]$$

#### Paso 7

Cálculo de máximas relaciones de flujo actual( $q$ ) a flujo de saturación ( $s$ ) por carril para cada fase "i"

$$\beta_i = \frac{q_{imax}}{s}$$

$q_{1max}$  =Flujo crítico o máximo por carril de la fase "1"

$q_{2max}$  =Flujo crítico o máximo por carril de la fase "2"

$q_{3max}$  =Flujo crítico o máximo por carril de la fase "3"

$$\beta_1 = \frac{q_{1max}}{s_1} = \frac{901}{1800} = 0,50$$

$$\beta_2 = \frac{q_{2max}}{s_2} = \frac{187}{1800} = 0,10$$

$$\beta_3 = \frac{q_{3max}}{s_3} = \frac{151}{1800} = 0,08$$

### Paso 8

Cálculo de la longitud del ciclo óptimo ( $C_0$ )

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\delta} \beta_i} = \frac{1,5(15) + 5}{1 - (0,50 + 0,10 + 0,08)}$$

$$C_0 = 85,94$$

Este valor se debe redondear a los 5 segundos más cercanos para un mejor resultado, entonces:

$$C = 90 \text{ [s]}$$

### Paso 9

Calcular el tiempo verde efectivo

$$g_T = C - L = 90 - 15$$

$$g_T = 75$$

### Paso 10

Reparto de los tiempos verdes efectivos ( $g_i$ )

$$g_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^{\delta} \beta_i} \times g_T$$

$$g_1 = \frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3} \times g_T = \frac{0,50}{0,50 + 0,10 + 0,08} \times 75 = 55$$

$$g_2 = \frac{\beta_2}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3} \times g_T = \frac{0,10}{0,50 + 0,10 + 0,08} \times 75 = 11$$

$$g_3 = \frac{\beta_3}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3} \times g_T = \frac{0,08}{0,50 + 0,10 + 0,08} \times 75 = 9$$

### Paso 11

Determinar los tiempos reales

$$G_i = g_i + l_i - A_i$$

$$G_1 = g_1 + l_1 - A_1 = 55 + 3 - 3 = 55 [s]$$

$$G_2 = g_2 + l_2 - A_2 = 11 + 3 - 3 = 11 [s]$$

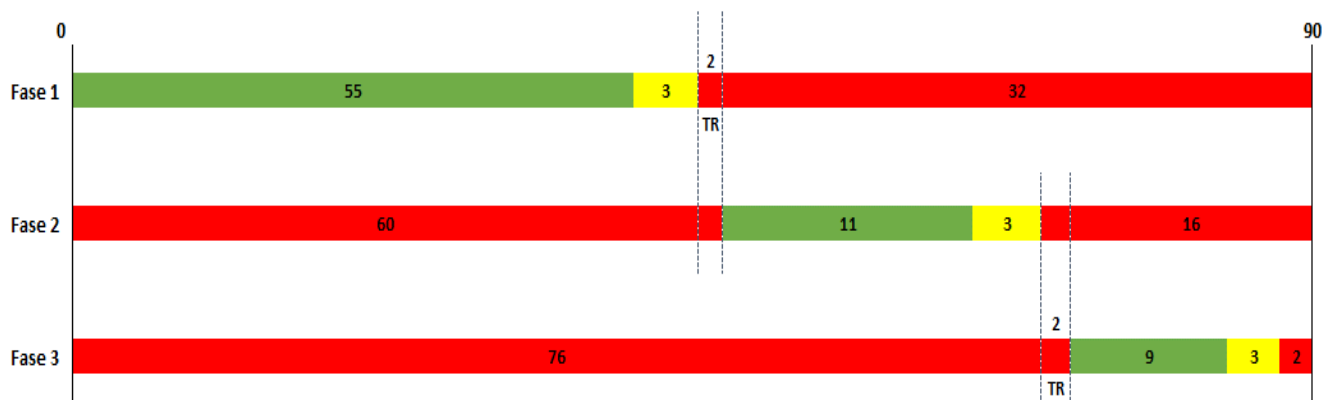
$$G_3 = g_3 + l_3 - A_3 = 9 + 3 - 3 = 9 [s]$$

Tabla 3.13 Tiempos óptimos de semáforos

Fase N°	Tiempo (seg.)			Total
	Verde	Amarillo	Rojo	
1	55	3	32	90
2	11	3	76	90
3	9	3	78	90

Fuente: Autor

Figura 3.8 Diagrama de fases



Fuente: Autor

Tabla 3.14 Resultados de ajuste de volúmenes situación mejorada

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Acceso	Mov	Vol. del mov. (vph)	FHMD	Flujo Ajustado (vph) "vp" [3/4]	Mov. por grupo de carriles	Flujo de demanda no ajustado por grupo (vph) "vgi"	Número de carriles "N"	Factor de utilización de carril "U" Tabla 1.8	Flujo de demanda ajustado (vph) "v <sub>i</sub> " [7x9]
Norte	MI	450	0,95	476	I	476	1	1	476
	MF	-	-	-		-	-	-	-
	MD	74	0,88	84	D	84	1	1	84
Oeste	MI	360	0,96	376	I	376	1	1	376
	MF	2465	0,95	2584	F	2584	5	1,1	2842
	MD	-	-	-		-	-	-	-
Este	MI	-	-	-		-	-	-	-
	MF	3192	0,98	3248	F	3248	5	1,1	3573
	MD	138	0,91	152	D	152	1	1	152

Fuente: Autor

Tabla 3.15 Análisis del flujo de saturación mejorada

1	Grupo de carriles			Factores de ajuste								13
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Acceso	Mov. por grupo de carriles	Flujo de saturación ideal (veh/hv/c) "so"	Número de carriles "N"	f <sub>A</sub> tabla N° 1.6	f <sub>VP</sub> tabla N° 1.7	f <sub>P</sub> tabla N° 1.8	f <sub>E</sub> tabla N° 1.9	f <sub>B</sub> tabla N° 1.10	f <sub>L</sub> tabla N° 1.11	f <sub>MD</sub> tabla N° 1.12	f <sub>MI</sub> tabla N° 1.13	Flujo de saturación (Veh/hv) "s" [3x4x5x6x7x8x9x10x11x12]
Norte	I	1800	2	0,967	0,94	1	1	1	0,9	0,88	0,95	2452
	D											
Oeste	I	1800	1	0,967	0,91	1	1	1	0,9	1	0,95	1347
	F											
Este	F	1800	11	0,933	0,91	1	1	1	0,9	0,89	1	13397,79
	D											

Fuente: Autor

Cálculo de relación de verde

- Acceso Norte

$$g_{i/C} = 11/90 = 0.12$$

- Acceso Oeste-Norte

$$g_{i/C} = 9/90 = 0.10$$

- Acceso Oeste-Este

$$g_i/c = 55/90 = 0.61$$

Tabla 3.16 Análisis de capacidad mejorado

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Mov. por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado (veh/h) "v <sub>i</sub> "	Flujo de saturación (veh/hv) "s"	Relación de flujo "(v/s) <sub>i</sub> " [3/4]	Relación de verde "g <sub>i</sub> /C "	Capacidad del grupo de carriles (veh/h) "c <sub>i</sub> " [4*6]	Relación "(v/c) <sub>i</sub> =X <sub>i</sub> " [3/7]	Grado de saturación crítico "X <sub>c</sub> "
Norte	I	476	2452	0,228	0,12	300	1,86850	1,20
	D	84						
Oeste	I	376	1347	0,279	0,10	135	2,79042	1,20
	F	2842						
Este	F	3573	13398	0,490	0,61	8187,54	0,80	1,20
	D	152						

Fuente: Autor

Cálculos demora uniforme

$$d_{ii} = 0.38C \frac{[1 - (g_i/c)]^2}{[1 - (g_i/c)X_i]} = 0,38 * 90 * \frac{[1 - 0,12]^2}{(1 - (0,12 * 1,20))} = 30,867 = d_{11}$$

$$d_{ii} = 0.38C \frac{[1 - (g_i/c)]^2}{[1 - (g_i/c)X_i]} = 0,38 * 90 * \frac{[1 - 0,10]^2}{1 - (0,10 * 1,20)} = 31,469 = d_{12}$$

$$d_{1i} = 0,38C \frac{[1 - (g_i/C)]^2}{[1 - (g_i/C)X_i]} = 0,38 * 90 * \frac{[1 - 0,61]^2}{1 - (0,61 * 0,80)} = 10,144 = d_{13}$$

Cálculos demora incremental mejorada

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + (16X_i/c_i)} \right] = 173 * (1,20)^2 \left[ (1,20 - 1) + \sqrt{(1,20 - 1)^2 + \left(16 * \frac{1,20}{300}\right)} \right] = 128,336 = d_{21}$$

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \left(\frac{16X_i}{c_i}\right)} \right] = 173 * (1,20)^2 \left[ (1,20 - 1) + \sqrt{(1,20 - 1)^2 + \left(16 * \frac{1,20}{135}\right)} \right] = 154,337 = d_{22}$$

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \left(\frac{16X_i}{c_i}\right)} \right] = 173 * (0,802)^2 \left[ (0,802 - 1) + \sqrt{(0,802 - 1)^2 + \left(16 * \frac{0,802}{8187,54}\right)} \right] = 0,436 = d_{23}$$

### Demora en el acceso

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(159,203 * 560)}{560} = 159,203 \quad d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(50,438 * 376)}{376} = 50,438$$

Grupo de carriles		1º Término de la demora				2º Término de la demora		Demora del grupo		Demoras Totales y Niveles de Servicio				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Acceso	Mov. por grupo de carriles	Relación "(v/c) <sub>i</sub> =X <sub>i</sub> "	Relación de verde "g <sub>i</sub> /C "	Longitud del ciclo (seg.) "C"	Demora uniforme (s/veh) "d <sub>1i</sub> "	Capacidad del grupo de carriles (veh/h) "c <sub>i</sub> " [4*6]	Demora incremental (s/veh) "d <sub>2i</sub> "	Factor de ajuste por efecto de la progresión "FP" Tabla Nº 1.14	Demora ajustada para el grupo de carriles (s/veh) "d <sub>ia</sub> " [6+8]*9	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla Nº 1.1	Demora en el acceso (s/veh) "d <sub>A</sub> "	Nivel de servicio del acceso Tabla Nº 1.1	Demora global en la intersección	Nivel de servicio de la intersección Tabla Nº 1.1
Norte	I	1,20	0,12	90	30,867	300	128,336	1,000	159,20	F	159,20	F	26,33	D
	D													
Oeste	I	1,20	0,10	90	31,469	135	154,337	1,000	185,81	F	185,80	F		
	F													
Este	F	0,802	0,61	90	10,144	8187,54	0,436	0,555	5,87	B	5,87	B		
	D													

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} V_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} V_i} = \frac{(5,873 * 6567)}{6567} = 5,873$$

Tabla 3.17 Análisis del nivel de servicio mejorado

Fuente: Autor



# CAPÍTULO 4

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

- De acuerdo con los datos recolectados en el aforo vehicular, se logró determinar que el mayor porcentaje del flujo de vehículos desde Durán hacia Guayaquil, así como en el sentido contrario, es el de vehículos livianos, con un 89% frente al porcentaje de vehículos pesados que incluyen buses y camiones, los mismos que representan en la vía el 11%.
- Una vez que se concluyó el análisis de los datos de la intersección seleccionada en este trabajo, se determinó que la misma ofrece un nivel de servicio F, lo que describe operaciones en la intersección con demoras en la intersección entre 15 segundos hasta más de 60 segundos por vehículo. La determinación de la longitud del ciclo óptimo de los semáforos es decisiva en la determinación de demoras en la intersección.
- Se ha determinado que existe un flujo de vehículos homogéneo con un FHMD promedio de 0.95 en sentido desde Guayaquil hacia Durán y un flujo de vehículos ligeramente heterogéneo con un FHMD promedio de 0.87 en el sentido desde Durán hacia Guayaquil.
- La optimización de fases en intersecciones semaforizadas permite maximizar el número de movimientos simultáneos permitidos y generar un aumento en el nivel de servicio y en la capacidad del tráfico vehicular global de la intersección.

### 4.2. Recomendaciones

- Implementar un modelo de optimización para la sincronización de semáforos fijos.
- Limitar la circulación de vehículos pesados durante los períodos de máxima demanda para agilizar el paso de los vehículos y así mejorar el flujo.

# BIBLIOGRAFÍA

Giz, U. d. (2017). *GIZ*. Obtenido de <https://www.giz.de/en/worldwide/63269.html>

Health Effects Institute (2018). *State of Global Air 2018. Special Report*. Boston, MA:Health Effects Institute. Obtenido de:  
<https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga-2018-report.pdf>

Moreno Miranda, M. M., Beltrán Cárdenas, J. P., & Palomino Rozo, N. E. (2017). *UPCommons*. Obtenido de Universidad Politecnica de Cataluña:  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/108295>

OMS (2 de Mayo de 2018). *Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Obtenido de: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

OMS (2018). WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018). Obtenido de:  
<https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>

ONU, C. d. (25 de Septiembre de 2015). *www.un.org*. Obtenido de  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

ONU, C. d. (25 de Septiembre de 2015). *www.un.org*. Obtenido de Naciones Unidas:  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Unidas, N. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de:  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

# APÉNDICE













## APÉNDICE A

FOTOGRAFÍA DE LA INTERSECCIÓN ENTRE LA AVENIDA NICOLÁS LAPENTTI Y LA AVENIDA JAIME NEBOT EN DURÁN.



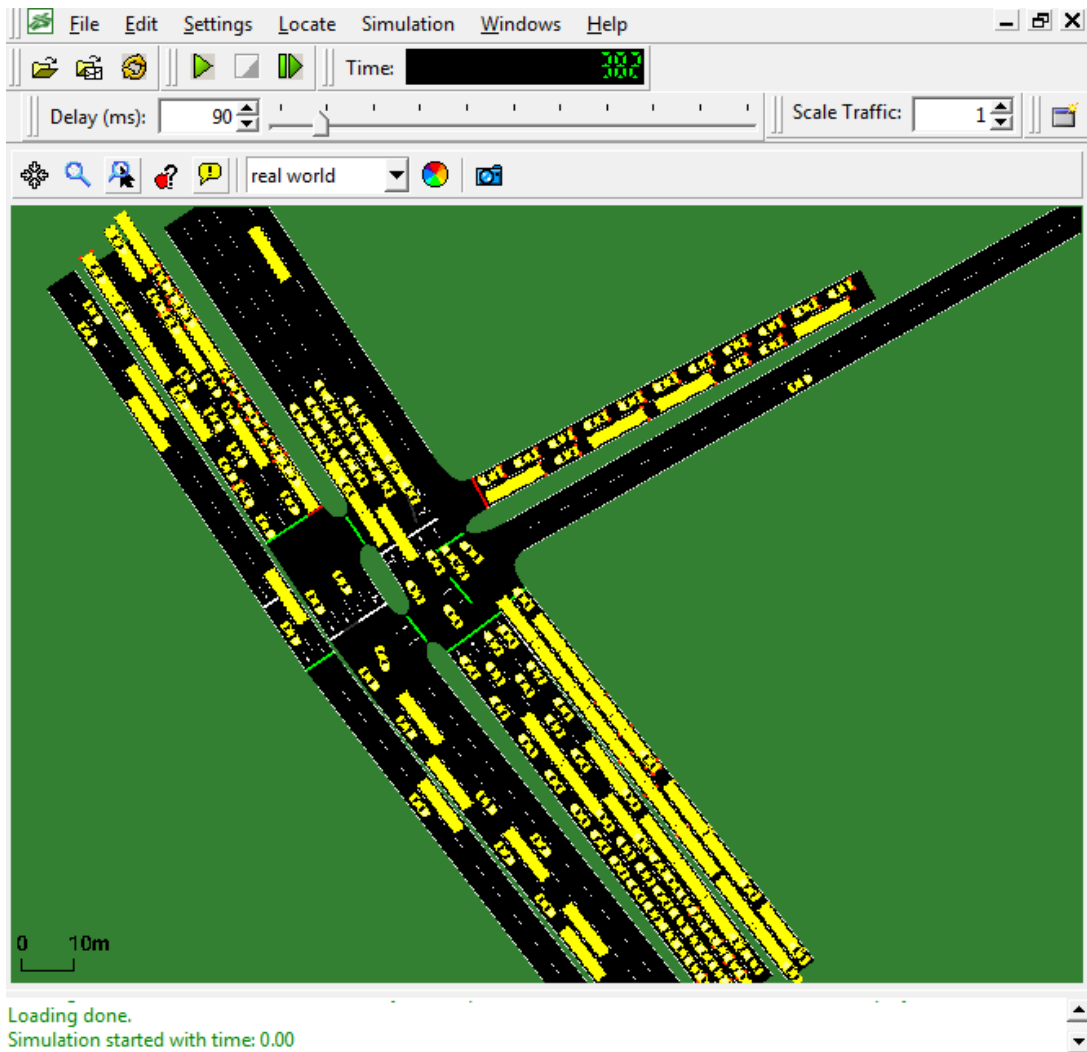
## **APÉNDICE B**

**VOLUMEN ENTRESEMANA PROMEDIO DE VEHÍCULOS PARA LA INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA NICOLÁS LAPENTTI Y LA AVENIDA JAIME NEBOT DURANTE EL HORARIO DE 7 AM A 8 AM.**

Movimiento	Giro Derecha Sentido E-N		FR Sentido E-O		GD Sentido N-O		GI Sentido O-N		FR Sentido O-E		GI Sentido N-E	
	Tipo veh		Tipo veh		Tipo veh		Tipo veh		Tipo veh		Tipo veh	
	liviano 	pesado 	liviano 	pesado 	liviano 	pesado 	liviano 	pesado 	liviano 	pesado 	liviano 	pesado 
1	5	1	96	11	3	0	13	1	66	13	17	1
2	4	0	91	9	2	0	13	1	65	13	14	1
3	4	1	99	11	3	0	12	1	70	12	16	2
4	4	1	112	10	3	0	11	1	63	13	17	1
5	3	1	93	10	3	0	13	1	70	14	17	1
6	4	1	113	9	3	0	14	1	70	14	14	1
7	3	1	111	9	3	0	14	1	73	14	16	1
8	3	1	102	10	2	0	13	0	72	14	15	2
9	5	0	104	10	3	0	13	1	66	14	18	1
10	4	0	100	10	2	0	13	1	76	13	14	2
11	5	0	107	8	2	0	11	1	68	14	15	1
12	5	0	113	12	3	0	12	1	74	14	13	1
13	4	0	102	12	2	0	13	1	76	15	13	2
14	5	0	113	11	2	0	10	1	80	14	14	1
15	4	0	104	11	2	0	12	1	83	15	13	1
16	4	0	110	14	3	0	12	1	82	13	14	1
17	5	1	102	12	3	0	11	1	68	13	12	2
18	4	0	101	12	3	0	11	1	81	13	15	2
19	5	1	100	11	2	0	13	0	84	14	14	2
20	5	1	102	13	3	0	12	1	77	13	13	1
21	5	0	108	12	2	0	12	1	78	13	15	2
22	6	0	99	12	2	0	12	1	80	12	16	1
23	7	1	103	14	3	0	12	0	79	13	14	1
24	5	1	103	12	3	0	11	1	69	13	15	2
25	5	0	103	11	3	0	11	1	84	15	14	1
26	4	1	101	13	2	0	12	0	78	13	16	1
27	5	1	101	12	2	0	12	1	73	13	16	1
28	4	1	93	13	2	0	12	1	83	14	14	2
<b>TOTAL</b>	<b>126</b>	<b>12</b>	<b>2883</b>	<b>309</b>	<b>70</b>	<b>4</b>	<b>340</b>	<b>20</b>	<b>2087</b>	<b>378</b>	<b>413</b>	<b>37</b>

## APÉNDICE C

### SIMULACIÓN EN SUMO DE LA SITUACIÓN ACTUAL



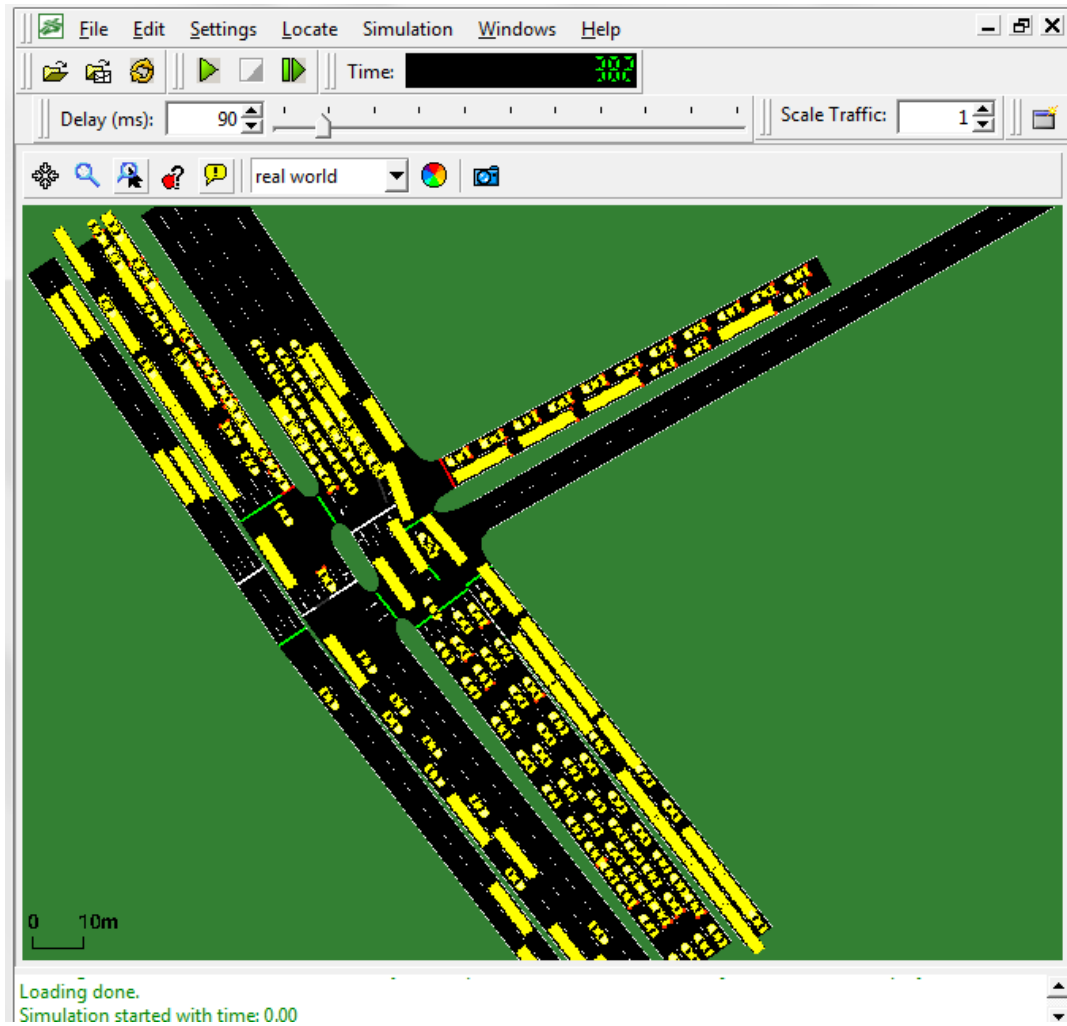
## APÉNDICE D

### PARÁMETROS EN SUMO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Name	Value	Dynamic
loaded vehicles [#]	5935	✓
insertion-backlogged vehicles [#]	4985	✓
departed vehicles [#]	738	✓
running vehicles [#]	184	✓
arrived vehicles [#]	554	✓
discarded vehicles [#]	0	✓
collisions [#]	0	✓
teleports [#]	0	✓
halting [#]	44	✓
avg. speed [m/s]	5.62	✓
avg. relative speed	0.37	✓
end time [s]	-1	✗
begin time [s]	0	✗
step duration [ms]	98	✓
simulation duration [ms]	90	✓
idle duration [ms]	8	✓
duration factor	11.11	✓
updates per second	2044.44	✓
avg. updates per second	3010.32	✓
avg. trip length [m]	430.49	✓
avg. trip duration [s]	86.92	✓
avg. trip waiting time [s]	38.92	✓
avg. trip time loss [s]	58.19	✓
avg. trip depart delay [s]	99.24	✓
avg. trip speed [m/s]	4.95	✓
nodes [#]	18	✗
edges [#]	18	✗
total edge length [km]	1.73	✗
total lane length [km]	5.52	✗
network version	1.10	✗

## APÉNDICE E

### SIMULACIÓN EN SUMO CON CICLOS DE SEMÁFOROS OPTIMIZADOS





## APÉNDICE F

### PARÁMETROS EN SUMO DE LA INTERSECCIÓN CON CICLOS DE SEMÁFORO OPTIMIZADOS

Name	Value	Dynamic
loaded vehicles [#]	5935	✓
insertion-backlogged vehicles [#]	4808	✓
departed vehicles [#]	915	✓
running vehicles [#]	177	✓
arrived vehicles [#]	738	✓
discarded vehicles [#]	0	✓
collisions [#]	0	✓
teleports [#]	0	✓
halting [#]	35	✓
avg. speed [m/s]	6.87	✓
avg. relative speed	0.44	✓
end time [s]	-1	✗
begin time [s]	0	✗
step duration [ms]	87	✓
simulation duration [ms]	68	✓
idle duration [ms]	19	✓
duration factor	14.71	✓
updates per second	2602.94	✓
avg. updates per second	2926.73	✓
avg. trip length [m]	456.36	✓
avg. trip duration [s]	65.80	✓
avg. trip waiting time [s]	16.09	✓
avg. trip time loss [s]	35.13	✓
avg. trip depart delay [s]	127.06	✓
avg. trip speed [m/s]	6.94	✓
nodes [#]	18	✗
edges [#]	18	✗
total edge length [km]	1.73	✗
total lane length [km]	5.52	✗
network version	1.10	✗