



## ÍNDICE

RESUMEN.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	8
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. Manual de Diseño Geométrico.....	11
2.2.1.1. Manual de Diseño Geométrico DG - 2018 - MTC.....	11
2.2.1.2. Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas - 2005.....	14
2.2.2. Teoría de Flujo Vehicular.....	16
2.2.2.1. Variables del Flujo.....	16
2.2.2.2. Variables relacionadas con la Velocidad.....	17
2.2.2.3. Variables relacionadas con la Densidad.....	18
2.2.2.4. Relación entre Flujo, Velocidad y Densidad.....	19
2.2.2.5. Velocidad de Operación.....	19
2.2.2.6. Conflictos del Tráfico.....	19
2.2.2.7. Modelos de Circulación Continua.....	20
2.2.2.8. Flujo Discontinuo en Intersecciones SemafORIZADAS.....	22
2.2.2.9. Características de Tráfico.....	23
2.2.2.10. Señales de Control.....	24
2.2.2.11. Capacidad y Nivel de Servicio.....	24
2.2.3. Metodología HCM.....	25
2.2.3.1. Paso N°01: Determinación del grupo de movimientos y grupo de carriles.....	26
2.2.3.2. Paso N° 02: Determinación de la tasa de flujo del grupo de movimiento.....	27
2.2.3.3. Paso N° 03: Determinación de la tasa de flujo del grupo de carriles.....	27
2.2.3.4. Paso N° 04: Determinación de los ajustes de la tasa de flujo de saturación.....	27

2.2.3.5. Paso N° 05: Determinación de la proporción que llega durante el verde.....	31
2.2.3.6. Paso N° 06: Determinación de la duración de la fase semafórica .....	31
2.2.3.7. Paso N° 07: Determinación de la capacidad y la relación de volumen y capacidad .....	32
2.2.3.8. Paso N° 08: Determinación de demoras .....	33
2.2.3.9. Paso N° 09: Determinación del nivel de servicio .....	36
2.2.3.10. Paso N° 10: Determinación de la Relación de Almacenamiento en Cola .....	36
2.2.4. Synchro 8.0.....	36
2.2.4.1. Funciones principales: .....	36
2.2.4.2. Métodos independientes .....	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	40
3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	40
3.2. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	40
3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN .....	40
3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO.....	41
3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO .....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.1. Estado de conocimiento acerca de la Ingeniería de Tránsito, la Metodología HCM 2010 y el uso del Software Synchro 8.0.....	44
4.2. Investigaciones científicas a nivel nacional .....	45
4.3. Posibles soluciones de los distintos temas de investigación .....	48
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES.....	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

### LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Intervalos entre vehículos .....	17
Fig. 2. Densidad o concentración .....	18
Fig. 3. Espaciamiento entre vehículos.....	19
Fig. 4. Relaciones de tiempo y espacio entre vehículos.....	19
Fig. 5. Conflictos concurrentiales.....	20
Fig. 6. Conflictos direccionales .....	20
Fig. 7. Conflictos funcionales .....	20
Fig. 8. Representación del tráfico en el espacio (s) y el tiempo (t) .....	21
Fig. 9. Sistemas de análisis de la teoría del seguimiento vehicular.....	21
Fig. 10. Sistemas de colas en una intersección.....	22
Fig. 11. Metodología del Automóvil para Intersecciones Semaforzadas.....	25
Fig. 12. Grupos de movimientos y Grupos de Carriles Comunes.....	26
Fig. 13. Grupo de carriles típicos para el análisis.....	26
Fig. 14. Causas de la congestión de tráfico .....	47
Fig. 15. Flujo vehicular propuesto .....	50
Fig. 16. Flujo vehicular estimado con HCM y Synchro.....	51
Fig. 17. Esquema tentativo de línea de buses propuesta .....	51
Fig. 18. Flujo vehicular propuesto .....	52
Fig. 19. Ciclo de semáforo y tiempos verdes propuestos.....	52
Fig. 20. Propuesta para giros a la izquierda .....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Unidades de Medida.....	11
Tabla 2. Valores de la relación de pelotón.....	23
Tabla 3. Resumen de los valores recomendados por diferentes manuales .....	28
Tabla 4. Factores de ajuste.....	29
Tabla 5. Relación entre el tiempo de llegada .....	31
Tabla 6. Criterio del Nivel de Servicio .....	36
Tabla 7. Características de cada técnica .....	37
Tabla 8. Operacionalización de variables.....	41
Tabla 9. Técnicas e instrumentos, con su aplicación.....	42
Tabla 10. Tesis relacionadas al tema de investigación.....	45
Tabla 11. Propuestas para la problemática.....	48
Tabla 12. Indicadores de la red vial .....	50
Tabla 13. Intersecciones analizadas optimizadas .....	53

## RESUMEN

El tráfico vehicular en el Perú va en crecimiento por lo que se ha convertido en un gran problema para su parque automotor. La congestión vehicular en las intersecciones, genera una constante saturación de tránsito en horas punta. Sin embargo, existen medidas que pueden ser implementadas para reducir el tiempo que se pierde al circular por ciertas avenidas. La presente investigación tiene como objetivo principal realizar un diagnóstico de la situación actual, el cual nos permita revelar las fallas técnicas en el sistema vial y así brindar alternativas de la gestión vial a mediano y largo plazo que contribuya la optimización de los indicadores de medición de tráfico, dando propuestas de solución vial con el software de simulación y análisis de tránsito que es el SYNCHRO 8.0 que emplean la Metodología del Automóvil de HCM 2010. Para la parte final de este informe, se darán conclusiones y recomendaciones que se enfoquen directamente a las propuestas de solución que se presentan en las intersecciones, además servirá como apoyo académico para futuras investigaciones de la misma línea de estudio.

**Palabras claves:** tráfico vehicular, parque automotor, sistema vial, Synchro.

## ABSTRACT

Vehicle traffic in Peru and crashing because it has been converted into a major problem for its car park. Traffic congestion at intersections, generates a constant saturation of the transient at hourly points. Embargo, there are already medicines that perform cuts and perform circulating circular and ciertas avenidas. The present research does not, as the main objective, carry out a diagnostic of the real situation, but allows us to reveal the technical failures in the vial system as well as alternative alternatives of vial and median gestation away from the contribution made by the specialist. flight solution with the translocation simulation software as it is SYNCHRO 8.0 which implements the HCM 2010 Automotive Methodology. For preliminary information, you have named your request. presentation solutions that are presented in their perceptions, served as academic or academic for future investigations of the study line mass.

**Keywords:** vehicular traffic, automotive park, road system, Synchro.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la congestión vehicular en el Perú es uno de los problemas más graves que afronta. El problema radica en que la aparición de nuevas unidades no va al mismo ritmo con el retiro de aquellas en estado de obsolescencia o que son altamente contaminantes, el parque automotor peruano es de 2.6 millones de vehículos, de los cuales el 85% son livianos y el 15% unidades pesadas, por lo que la cifra muestra un crecimiento importante en el número de unidades respecto al 2016, que, con vehículos de dos o tres ruedas, llegaban a 2,281,000, para lo cual se plantea un proyecto de renovación del parque automotor [1] (Ver anexo 01). Para tener una idea más concisa de la situación real del sector automotriz, en el año 2019 la tasa de Ventas de Vehículos Nuevos en el Perú fue 168,647, teniendo un crecimiento de 1.7% con respecto al año 2018 que tuvo 165,802, el cual ha sido un factor para el incremento del parque automotor [2] (Ver anexo 02).

Así mismo, también se evidencia dicho problema en el interior del país como en la ciudad de Chiclayo, cuyo parque automotor proyectado al 2023 es de 129,037 [3], no obstante, se ha creído conveniente hacer un recálculo de la cifra proyectada para determinar una cifra más aproximada haciendo uso de la fórmula de Proyección de Tránsito del Manual de Diseño de Carreteras de bajo Volúmen de Tránsito 2008, cuyo resultado es 172.271 la cifra proyectada, que de manera este aumento genera una congestión vehicular que trae como consecuencia la contaminación del medio ambiente, la pérdida económica por el tiempo perdido en las colas que se generan en las intersecciones (Ver anexo 03 y 04)

Por otro lado, según el Sinia [4], tiene como estadísticas que en el año 2016 existieron 53.72 vehículos por cada mil habitantes, ubicándonos en el puesto 07 a nivel departamental (Ver anexo 05).

## II. MARCO TEÓRICO

### ***2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA***

Se han realizado varias investigaciones de tesis y propuestas respecto a la solución vial a consecuencia del tráfico vehicular, tanto a nivel nacional como internacional.

***TESIS DE PREGRADO: EVALUACIÓN DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE CHICLAYO Y PROPUESTAS DE MEJORA, CHICLAYO, 2014 [3].***

En esta tesis se hace un estudio profundo de Chiclayo, por ser una ciudad económicamente próspera, gracias a su geográfica, cultura y gastronomía. Sin embargo, hace mención que en los últimos 20 años, Chiclayo ha crecido de una manera desmesurado, uno de sus principales problemas es el sistema de transporte público, el cual provoca el tráfico vehicular en su zona de estudio, debido a la falta de mantenimiento de vías, incremento del parque automotor, falta de enseñanza vial, centralismo, etc. Por lo que evalúa los problemas mencionados anteriormente con el fin de determinar si existe un exceso de flotas a grado del transporte público y proponer planes que solucionen esta problemática.

***TESIS PREGRADO: MODELACIÓN DEL TRÁNSITO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN VIAL A LA AV. CÁCERES CON INFRAWORKS Y SYNCHRO 8, PIURA, 2018 [5].***

Esta tesis se desarrolló teniendo en cuenta la problemática del sistema vial en el Perú, teniendo como zona de estudio la Av. Cáceres (Piura), el número de flotas en esta zona está aumentando y los problemas diagnosticados en los cruces serían la principal causa de congestión vehicular. Por tanto, el propósito es diagnosticar el estado actual de la Av. Cáceres para revelar fallas técnicas, y utilizar la normativa MTC DG-2018 para proponer soluciones a través de software de simulación (como Synchro e Infracore).

***TESIS PREGRADO: PROPUESTA DE REDUCCIÓN DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR EN LAS AVENIDAS LA MARINA Y FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN, DESDE LA AV. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE HASTA LA AV. GREGORIO ESCOBEDO, MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE SYNCHRO 8, LIMA, 2019 [6].***

Esta tesis presenta un estudio a fondo del elevado congestionamiento vehicular en su área de estudio, posterior a esto propone soluciones que permita el uso adecuado de Av. La Marina y la Av. Faustino Sánchez Carrión (Lima), a consecuencia del crecimiento constante del parque vehicular y las condiciones negativas de regulación, por lo cual han generado el mal funcionamiento del sistema de transporte, haciendo uso del programa de simulación Synchro 8.

***TESIS PREGRADO: OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN VIAL DE LA AVENIDA BOLOGNESI CON LA AVENIDA BASADRE Y FORERO, TACNA, 2018 [7]***

En esta tesis, utiliza el software Synchro 8 para proponer una solución alternativa que puede mejorar el nivel de servicio del departamento a medida que disminuye el flujo de vehículos, porque es necesario realizar una visita al sitio para determinar la densidad de vehículos en circulación y luego llenar en el formulario de campo y luego simular con el software Synchro.

***TESIS PREGRADO: ANÁLISIS VIAL EN LAS INTERSECCIONES DE LA AV. LUZURIAGA Y SAN MARTÍN CON LA AV. RAYMONDI, APLICANDO EL SOFTWARE SYNCHRO 8.0, PARA MEJORAR EL FLUJO VEHICULAR, HUARAZ, 2018 [8].***

En esta tesis, se analizan los problemas de congestión vehicular en puntos de la red vial urbana de Huaraz, además, la falta de coordinación en los cruces señalizados genera una operación ineficiente de la red vial. Para ello se han estudiado los factores que intervienen en el análisis de las avenidas como la geometría que interviene en el tráfico y las condiciones de los semáforos, y con el apoyo de Synchro se lleva a cabo el nuevo diseño y optimización de los semáforos para encontrar flujo continuo en la red vial.

***TESIS PREGRADO: APLICABILIDAD DE LAS METODOLOGÍAS DEL HCM 2000 Y SYNCHRO 7.0 PARA ANALIZAR INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS EN LIMA, 2012 [9].***

En el trabajo de investigación, utilizó diferentes métodos para analizar una intersección de semáforos en Lima, estimó el flujo saturado y el retraso por control, y luego lo comparó con los datos obtenidos a través de la aplicación técnica directa de Input-Output. De manera similar, este documento señala el comportamiento del tráfico en las intersecciones. La conclusión es que es imposible utilizar el software Synchro para obtener el valor del caudal, por lo que se recomienda utilizar un análisis discreto y una curva de tendencia para medir directamente el caudal saturado.

***TESIS PREGRADO: APLICACIÓN DEL MODELO BIM PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL, QUITO, 2016*** [10]

En esta tesis se plantea el uso de herramientas BIM, el cual mediante su metodología se pueden lograr mejores resultados en ingeniería y documentación, cuantificación y gestión aplicadas al diseño y construcción de proyectos de carreteras y vías, a la vez que, considerando los canales de comunicación, son indispensables para el desarrollo de una región, por lo que es necesario considerar mejorar el proceso para hacer necesaria su construcción.

***TESIS DE MASTER: PROPUESTA DE GESTIÓN VIAL PARA REDUCIR LA CONGESTIÓN VEHICULAR Y SU IMPACTO SOCIAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA AV. AREQUIPA CON LA AV. ARAMBURÚ, LIMA, 2018*** [11].

En esta tesis de maestría se realiza una revisión bibliográfica de la última tecnología de BIM en obra civil para aplicarla en la construcción de un corredor de transporte que conduce al polígono industrial de Sevilla, que se ubica en una carretera paralela a una pista de ferrocarril.

## ***2.2. BASES TEÓRICAS***

En este capítulo, se utilizarán las normas del "Manual MTC DG-2018", así como también del "Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas-2005" y los estándares del "Highway Capacity Manual 2010", para introducir los conceptos necesarios para la investigación de proyectos viales. A su vez, se detallará la aplicación del software para el análisis y simulación

de tránsito, que es el Synchro 8.0. Para determinar la problemática de las intersecciones, para así poder dar sustento a las propuestas de solución planteadas.

## 2.2.1. Manual de Diseño Geométrico

### 2.2.1.1. Manual de Diseño Geométrico DG - 2018 - MTC

El manual DG-2018 es D.S. N ° 034-2008-MTC. El manual es un documento normativo obligatorio en el Perú, que contiene los procedimientos y métodos requeridos para el diseño en 8 base al desarrollo de la infraestructura vial y sus correspondientes parámetros. Todos los aspectos dados en el manual son recomendaciones geométricas basadas en estándares internacionales como los estándares ASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Para el desarrollo del proyecto, se debe tener en cuenta las siguientes unidades de medida:

Tabla 1. Unidades de Medida

#### a. Unidades básicas

Símbolo	Unidad de Medida	Magnitud Física
m	metro	longitud
kg	kilogramo	masa
s	segundo	tiempo
km	kilómetro	longitud
h	hora	tiempo

#### Unidades derivadas

Símbolo	Unidad de Medida	Nombre unidades
m <sup>2</sup>	metro cuadrado	área
m <sup>3</sup>	metro cúbico	volumen
kg/m <sup>3</sup>	kilogramo por metro cúbico	densidad
m/s	metro por segundo	velocidad
km/h	Kilómetros por hora	velocidad

#### b. Otras unidades

Símbolo	Unidad de Medida	Magnitud Física
min	minuto	tiempo
d	día	tiempo
l	litro	volumen
t	tonelada métrica	masa
ha	hectárea	área

Fuente: “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018”, por MTC (2018, p. 10)

Los parámetros para el análisis de una vía según su funcionalidad son:

- Índice medio diario anual (IMDA), que representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.
- Velocidad de diseño.
- Orografía predominante de terreno.

Las carreteras en el Perú se clasifican, en función a la demanda:

#### 1. Autopista de Primera Clase:

- Características de acuerdo al MTC DG-2018:
- IMDA: mayores a 6000 vehículos/día
- Calzadas independientes con divisor central (1 a 6 m)
- Sistema de contención del vehículo, el separador es de 1m
- En cada calzada hay dos o más carriles, cada carril  $\geq 3.60$  m
- Control de acceso parcial (entrada y salida)
- Proporcionar un flujo continuo de vehículos.
- Debe estar pavimentada la superficie de rodadura [13, p. 12].

#### 2. Autopista de Segunda Clase:

Características de acuerdo al MTC DG-2018:

- IMDA: 4001 a 6000 vehículos/día
- Calzadas separadas (1 a 6 m) con separador central.
- Sistema de contención del vehículo, el separador es de 1m
- Cada calzada de tráfico tiene dos o más carriles, cada carril tiene una longitud mayor o igual 3.60 metros.
- Control de acceso parcial.
- Proporcionar un flujo continuo de vehículos.
- Debe estar pavimentada la superficie de rodadura [13, p. 12].

### 3. Carretera de Primera Clase:

Características de acuerdo al MTC DG-2018:

- IMDA: 2001 - 4000 vehículos/día.
- 2 carriles por calzada, cada carril tiene una longitud mayor o igual a 3.60 metros.
- Presencia de puentes peatonales.
- Debe estar pavimentada la superficie de rodadura [13, p. 12].

### 4. Carretera de Segunda Clase:

Características de acuerdo al MTC DG-2018:

- IMDA: 400- 2000 vehículos/día
- 2 carriles por calzada, cada carril tiene una longitud de 3.30 metros
- Presencia de puentes peatonales
- Debe estar pavimentada la superficie de rodadura [13, p. 12].

### 5. Carretera de Tercera Clase

Características de acuerdo al MTC DG-2018:

- IMDA: < 400 veh/día
- Una calzadas de 2 carriles, c/carril 3.0 m
- Excepcional, c/carril = 2.50 m
- Superficie de rodadura: suelo estabilizado, micro pavimento
- Si es pavimentada cumplirá condiciones para carreteras de 2da. Clase [13, p. 12]

### 6. Trochas Carrozables

Características de acuerdo al MTC DG-2018:

- IMDA: Menor 200 vehículos/día
- Longitud de calzada como mínimo 4 metros.
- Puede ser afirmado o sin afirmar su superficie de rodadura [13, p. 13].

La clasificación por Orografía es la siguiente:

1. Orografía 1:

- Terreno plano.
- La pendiente transversal del terreno es menor o igual al 10%.
- Pendiente longitudinal es menor al 3% [13, p. 14].

2. Orografía 2:

- Ondulado.
- La pendiente transversal del terreno está comprendida entre 10% – 50%.
- Pendiente longitudinal comprendida entre 3% - 6% [13, p. 14]

3. Orografía 3:

- Accidentado.
- La pendiente transversal del terreno está comprendida entre 50% – 100%.
- Pendiente longitudinal comprendida entre 6% - 8% [13, p. 14].

4. Orografía 4:

- Escarpado.
- La pendiente transversal del terreno es mayor al 100%.
- Pendiente longitudinal mayor al 8% [13, p. 14].

***2.2.1.2. Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas - 2005***

El “Manual para el diseño de vías urbanas 2005”, se presenta con una estructura que facilita su empleo, la que está organizada en 15 capítulos, cada uno de los cuales a su vez comprenden: secciones, acápites y párrafos. Este manual es la cuarta versión, siendo de esta manera la más actual el día de hoy [13]. Por otro lado, las vías urbanas se caracterizan por su multifuncionalidad: son utilizadas por los peatones, vehículos de transporte público, vehículos particulares (automóviles, motos, bicicletas, etc.). Siendo un medio de comunicación eficaz en el interior de una ciudad para su desarrollo.

Los parámetros de diseño vinculados a la clasificación de las vías urbanas según son:

- Características del flujo y conexión con otras rutas.
- Control de accesos y relación con otras vías.
- Número de carriles.
- Servicio de transporte público.

#### 1. Vías Expresas:

Se utilizan principalmente para el cruce de fronteras (los puntos de inicio y finalización están muy alejados entre sí). Generarán zonas de alto tráfico, transportarán una gran cantidad de vehículos, tráfico de alta velocidad y condiciones de baja accesibilidad, así como también presentan 3 o más carriles por sentido [13, p. 2/2].

#### 2. Vías Arteriales:

Las vías arteriales permiten el paso de vehículos, tienen movilidad media o alta, baja accesibilidad y están relativamente integradas con el uso del terreno adyacente. Estos caminos deben estar integrados en el sistema vial, y pueden estar bien distribuidos y distribuidos al colector y al tráfico vial local, por otro lado presenta 2 o 3 carriles por sentido [13, p. 2/3].

#### 3. Vías Colectoras:

Las vías colectoras se utilizan para transportar el tráfico desde las carreteras locales a las arterias y, a veces, no se pueden transportar a las vías rápidas a través de las arterias. Sirven tanto al tráfico de paso como a las propiedades vecinas. El número de carriles en este tipo de vías son de 1 o 2 carriles por sentido [13, p. 2/4].

#### 4. Vías Locales:

Su función principal es dar acceso a propiedades o parcelas, y éstas solo necesitan llevar su propio tránsito, es decir, generado tanto desde la entrada como desde la salida. Los vehículos ligeros (también se consideran los semipesados) pasan por ellos; los vehículos pueden estacionarse y el tráfico de peatones no está restringido [13, p. 2/5].

### **2.2.2. Teoría de Flujo Vehicular**

Para realizar una propuesta vial, lo primero que se debe considerar son las características de tránsito. Por lo que el “tráfico” es la principal preocupación de las personas, que hacen uso del transporte vehicular para poder movilizarse de un lugar a otro y sobre todo si se trata de una hora punta.

#### **2.2.2.1. Variables del Flujo**

##### 1. Flujo (q) y volumen (Q):

El flujo se analiza en una vía teniendo en cuenta la cantidad de vehículos que pasan por esta, representa la cantidad de vehículos que pasan en 60 minutos, su unidad (veh/hr).

$$q = \frac{N}{T}$$

(Ecuación 1)

Donde:

- q = flujo (veh./periodo)
- N= es el número de vehículos que pasan (veh.)
- T = tiempo (unidad de tiempo)

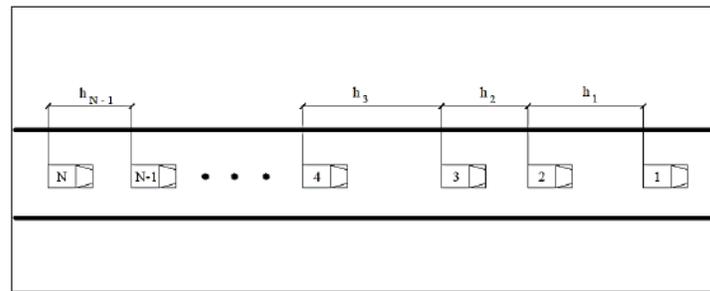
##### 2. Intervalo simple entre vehículos consecutivos ( $h_i$ ):

Teniendo en cuenta una vía, se considera el intervalo tiempo entre dos vehículos adyacentes, su unidad (seg)

##### 3. Intervalo promedio entre varios vehículos ( $\bar{h}$ ):

Este intervalo es el promedio de los intervalos simples ( $h_i$ ) que circula en una vía, su unidad es (seg/veh). También se puede representar como la inversa de la tasa de flujo.

Fig. 1. Intervalos entre vehículos



Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas 2007: 278

### 2.2.2.2. Variables relacionadas con la Velocidad

#### 1. Velocidad de marcha:

Es la distancia total recorrida dividida entre el tiempo de marcha. El tiempo de marcha no incluye todas las paradas y demoras [6].

#### 2. Velocidad instantánea:

Esta es la velocidad del vehículo mientras se conduce en un lugar específico de la vía. Esta velocidad ocurre en un segmento corto de movimiento [6].

#### 3. Velocidad de recorrido:

Esta es la suma de las distancias recorridas en un tramo largo, dividida por el tiempo total de viaje. Se obtiene del promedio de velocidades de una cierta cantidad de vehículos [6].

#### 4. Distancia de recorrido:

Es el total del espacio recorrido expresado en unidades de longitud, su unidad (mts).

#### 5. Tiempo de recorrido:

Es el tiempo recorrido que invierte cada vehículo en desplazarse entre dos puntos fijos.

#### 6. Velocidad media espacial:

Es un medio para calcular la velocidad de un vehículo que cruza la carretera en cualquier momento [6].

### 7. Velocidad media temporal:

Es el cálculo promedio de la velocidad de todos los vehículos que pasan, Es un medio para calcular la velocidad de un vehículo que cruza la carretera en cualquier momento [6].

#### 2.2.2.3. Variables relacionadas con la Densidad

##### 1. Densidad o concentración (K)

La frecuencia o cantidad de tráfico se expresa como el número de vehículos que recorren una determinada longitud en un momento determinado. Se expresa en veh/km

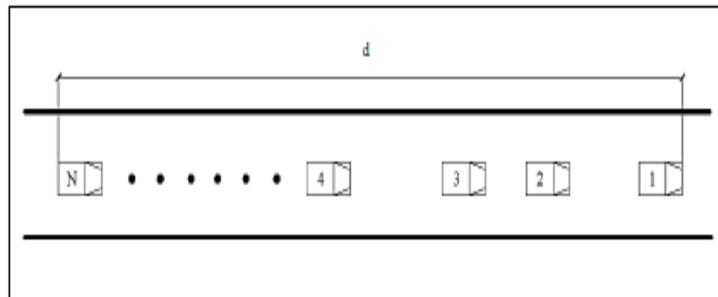
$$k = \frac{N}{d}$$

(Ecuación 2)

Donde:

- $k$  = densidad o cantidad de tráfico (veh/km)
- $N$  = número de vehículos (veh)
- $d$  = distancia (km)

Fig. 2. Densidad o concentración



Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas 2007: 283 [14]

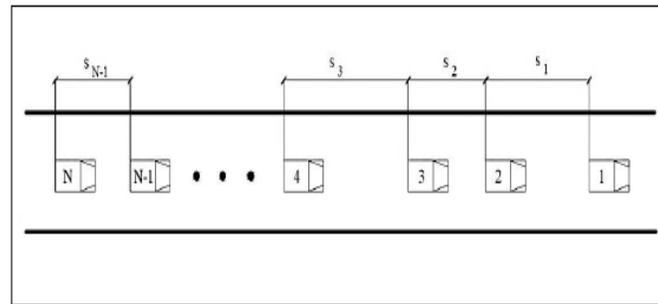
##### 2. Espaciamiento simple (Si)

Se refiere a la distancia que hay entre dos vehículos, se expresa en metros.

##### 3. Espaciamiento promedio (S)

Es una representación matemática de las carreteras simples viables (Si). Se expresa en metros/vehículo.

Fig. 3. Espaciamiento entre vehículos

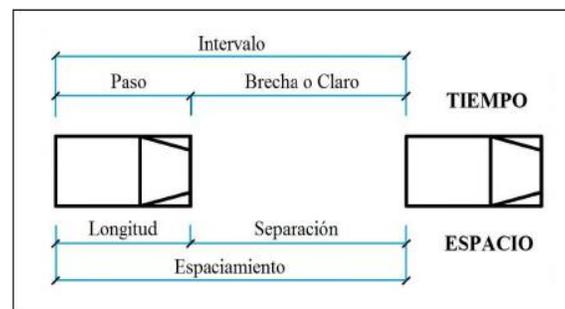


Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas 2007: 284 [14]

#### 2.2.2.4. Relación entre Flujo, Velocidad y Densidad

Todas estas características sirven para hallar las propiedades de la corriente de tránsito, y con estos datos determinar su nivel de servicio [14].

Fig. 4. Relaciones de tiempo y espacio entre vehículos



Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas 2007: 290 [14]

#### 2.2.2.5. Velocidad de Operación

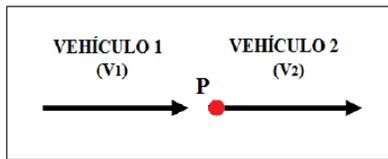
Con esta velocidad a lo largo de un espacio específico, permite identificar problemas locales y facilitar los estudios de un segmento de vía [6].

#### 2.2.2.6. Conflictos del Tráfico

##### 1. Conflictos concurrenciales:

Según Fernández, R. [15], los conflictos se generan en una misma porción de la vía, cuando las unidades de transporte circulan en igual dirección, pero con velocidades distintas. En la Figura 9, 19 el vehículo 1 mantiene una velocidad superior a la del vehículo 2; por ende, ambos se encontrarán en el punto P en un instante determinado.

Fig. 5. Conflictos concurrentes

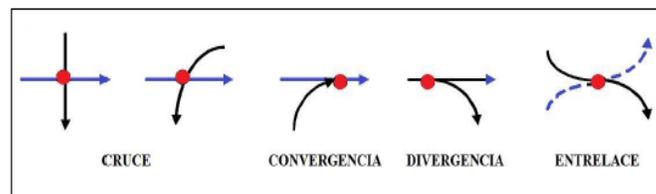


Fuente: Fernández 2008: pág. 11 [15]

## 2. Conflictos direccionales:

Según Fernández,R. [15], estos conflictos se originan en una intersección por causa de las maniobras o direcciones equívocas que toman los vehículos.

Fig. 6. Conflictos direccionales

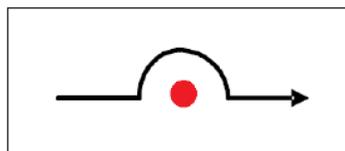


Fuente: Fernández 2008: pág. 11 [15]

## 3. Conflictos funcionales:

Según Fernández,R. [15], este tipo de conflicto se producen en una misma vía, pero son ocasionados por intereses distintos de los entes involucrados. En la Figura 11, el vehículo pretende circular, como también quiere detenerse para captar o dejar pasajeros o carga.

Fig. 7. Conflictos funcionales



Fuente: Fernández 2008: pág.11 [15]

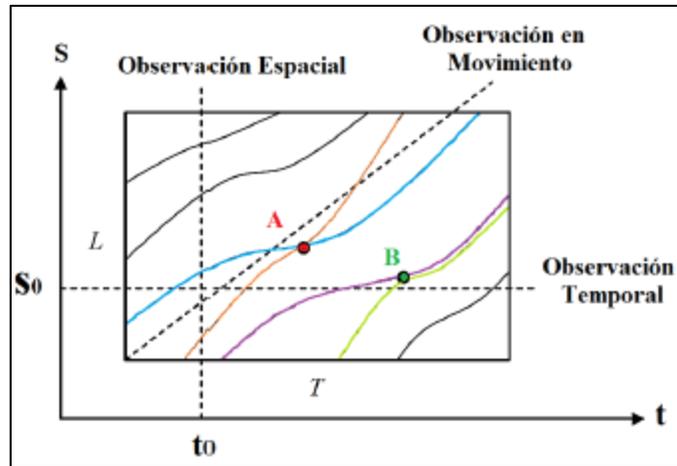
### 2.2.2.7. Modelos de Circulación Continua

#### 1. Modelo fluido dinámico

Según Fernández,R. [15] considera que el tráfico es similar a un flujo continuo, de partículas idénticas, independientemente de las condiciones del camino; en otras palabras, el tráfico se realiza en línea recta y el tráfico se organiza en la dirección del tiempo y el

espacio. Esto se visualiza en la Figura 8, donde una serie de vehículos transita, con velocidades diferentes.

Fig. 8. Representación del tráfico en el espacio (s) y el tiempo (t)

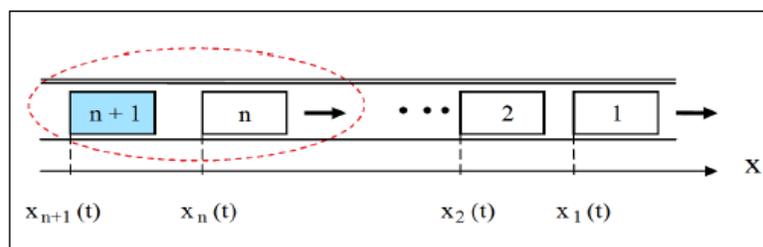


Fuente: Fernández 2008: pág. 12 [15]

## 2. Teoría del seguimiento vehicular

Según Fernández, R. [15], indica que la teoría del seguimiento vehicular, donde las unidades móviles siguen y son seguidas por otras en el mismo carril, se basa en la influencia que puede existir en la interacción de un par de vehículos, el predecesor o líder y el sucesor o seguidor. Dicho de otro modo, la conducta del vehículo sucesor “n+1” dependerá de lo que haga el vehículo predecesor “n”, especialmente cuando la distancia entre ellos es inferior a 125 metros. El sistema que se analiza se encuentra marcado en la Figura 9.

Fig. 9. Sistemas de análisis de la teoría del seguimiento vehicular



Fuente: Fernández 2008: pág.25 [15]

### 2.2.2.8. Flujo Discontinuo en Intersecciones Semaforizadas

#### 1. Headways de entrada:

Para la ingeniería de tránsito, el “headways de entrada” se produce cuando un automóvil cruza la línea de parada en una intersección semaforizada durante el periodo de cambio del intervalo de rojo a verde en el semáforo [6].

#### 2. Tasa de flujo de saturación:

Se realiza el cálculo mediante el proceso del HCM 2010, el cual resulta del producto de los flujos de saturación por los factores de corrección. La forma de cálculo se detalla posteriormente en el Paso N° 4, situado en el ítem 2.2.3.4

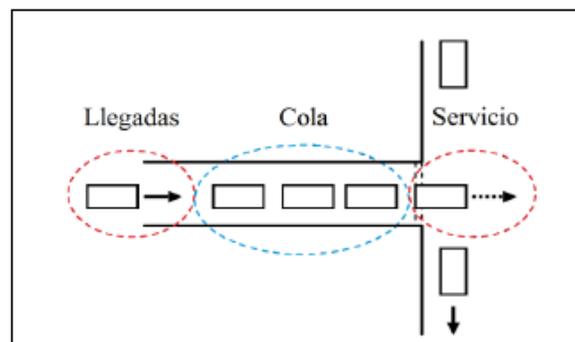
#### 3. Semáforos:

Este dispositivo que funciona eléctricamente, el cual regula mediante colores (rojo, amarillo y verde), la circulación de los vehículos en una intersección.

#### 4. Teoría de colas:

Para entender lo que es la teoría de colas, se pasará a definir de manera cualitativa y cuantitativa; el factor cualitativo lo define el usuario, es decir, la rapidez con la que el sistema puede atenderlo y el factor cuantitativo se refiere a la capacidad del sistema, es decir, cual es la capacidad del sistema para atender unidades.

Fig. 10. Sistemas de colas en una intersección



Fuente: Fernández 2008: pág.82 [15]

### 2.2.2.9. Características de Tráfico

#### 1. Tasa de flujo de demanda

Para el HCM 2010 [16], representa la cantidad de vehículos que llegan a un cruce en un tiempo de estudio, dividido entre la longitud de ese periodo.

#### 2. Factor de hora pico de la intersección

Según el HCM 2010 [16], para toda la intersección, el factor de hora pico se calcula mediante la Ecuación 3.

$$\text{PHF} = \frac{n_{60}}{4 n_{15}}$$

(Ecuación 3)

Donde:

- PHF = Factor de hora pico
- $n_{60}$  = cantidad de vehículos en 1 hora (veh /hr)
- $n_{15}$  = cantidad de vehículos en 15 minutos (veh)

#### 3. Relación de pelotón

Calculado como el flujo de demanda durante el periodo verde dividida por el flujo de demanda promedio. Los valores oscila entre 0,33 y 2, con esto muestra la calidad de secuencia de un semáforo [16].

Tabla 2. Valores de la relación de pelotón

RELACIÓN DE PELOTÓN	TIPO DE LLEGADA	CALIDAD DE LA PROGRESIÓN
0.33	1	Muy pobre
0.67	2	Desfavorable
1.00	3	Llegadas aleatorias
1.33	4	Favorable
1.67	5	Muy favorable
2.00	6	Excepcionalmente favorable

Fuente: TRB - HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 12 [16]

#### 4. Cola inicial

Para el HCM 2010 [16], es el inicio de una cola en un ciclo de análisis de las vías.

### ***2.2.2.10. Señales de Control***

#### 1. Máximo verde:

Para el HCM 2010 [16], es la configuración de un semáforo indicando el máximo verde en presencia de un elevado tráfico vehicular.

#### 2. Mínimo verde:

El ajuste de mínimo verde indica el número mínimo de veces que se puede mostrar la luz verde mientras el semáforo está encendido [16].

#### 3. Cambio de luz y dirección de luz roja:

Para el HCM 2010 [16], el cambio de luz ámbar y la configuración de la extensión del color rojo se incluyen en las fases de un semáforo; adicionalmente, éste intervalo suele ser de 2 a 5 segundos.

#### 4. Duración del ciclo:

Indica el intervalo de tiempo que hay en un semáforo, antes que esta cambie de color [16].

### ***2.2.2.11. Capacidad y Nivel de Servicio***

#### 1. Capacidad en intersecciones semaforizadas:

Según Garber y Hoel [17], en intersecciones semaforizadas, la capacidad se establece para cada grupo de carriles como el mayor número de unidades móviles, o máxima tasa de flujo, que puede cruzar por la intersección durante un intervalo de 15 minutos (veh./hora).

#### 2. Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas:

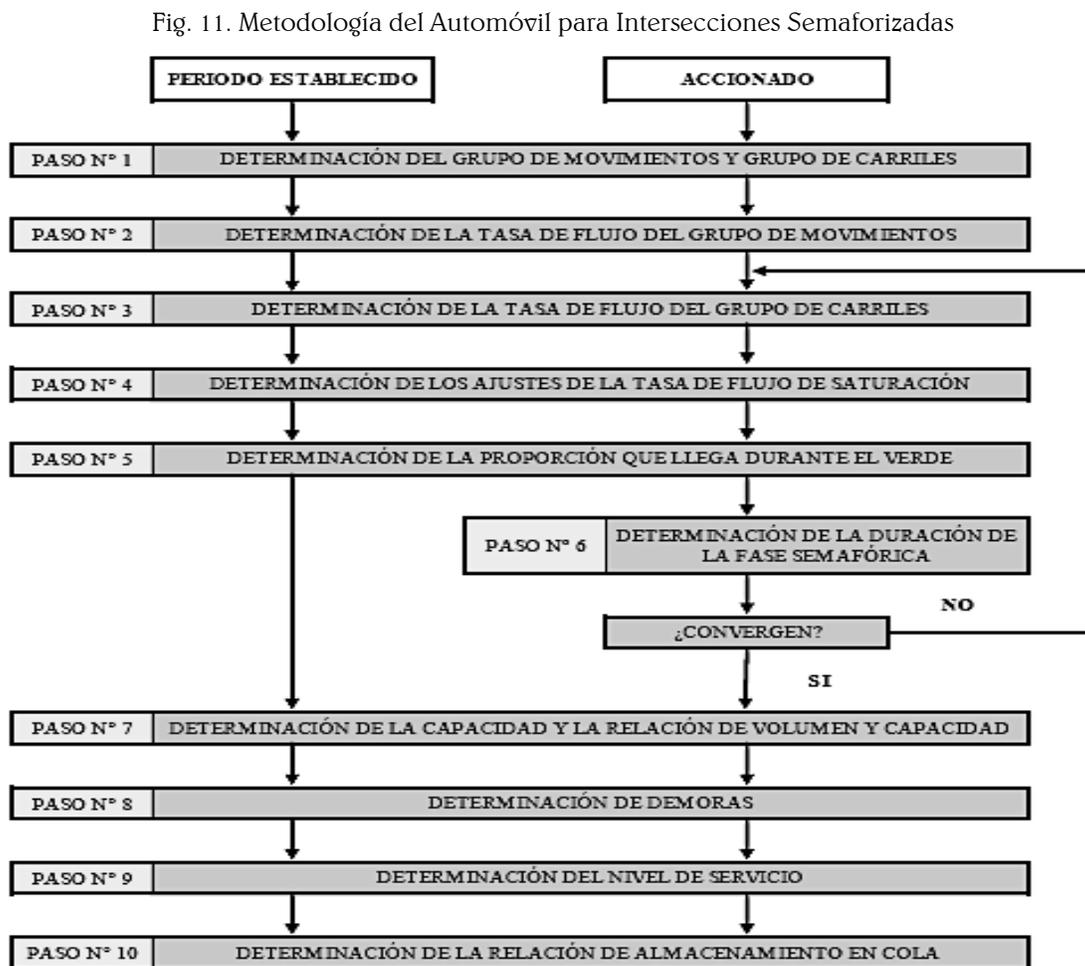
Según HCM 2010 [16], es el retraso que afecta la circulación debido a la señal semaforica que bloquea el acceso a la intersección.

Niveles de servicio, indican las demoras debido a la presencia de colas en los accesos de intersección con su respectiva representación gráfica volumen vs velocidad [16]:

### 2.2.3. Metodología HCM

La edición 2010 del HCM, que es parte de una serie de estudios rigurosos realizados a lo largo de los años en los Estados Unidos, incluye un enfoque integral para calcular en los cruces señalizados, su nivel de servicio. El Highway Capacity Manual – HCM 2010, cuenta con 3 metodologías para los diferentes modos (peatonal, bicicleta y automóvil). Por consiguiente, el capítulo 18 del HCM 2010 contiene las metodologías que uno como peatón pueda evaluar en una intersección semaforizada [18].

En la figura 11 se plantea el procedimiento a seguir para llegar a los niveles de servicio en las intersecciones [16].



Fuente: HCM 2010 – TRB Vol.3, Cap. 18:32 [16]

**2.2.3.1. Paso N°01: Determinación del grupo de movimientos y grupo de carriles [16].**

1. Grupo de movimientos y grupo de carriles:

En este primer paso, se detalla que para los diferentes tipos de carriles y movimientos, dependerán de la geometría de las intersecciones y a su vez de los movimientos permitidos.

Fig. 12. Grupos de movimientos y Grupos de Carriles Comunes

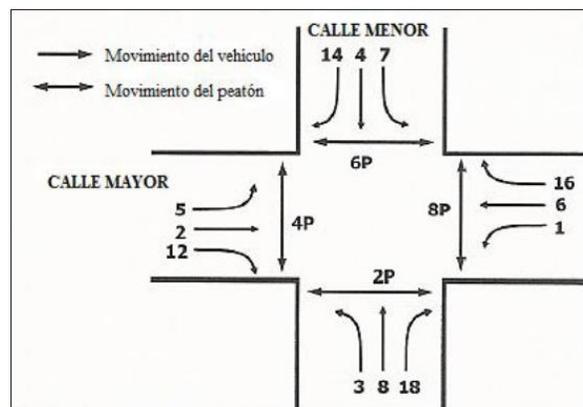
NÚMERO DE CARRILES	MOVIMIENTOS POR CARRILES	GRUPO DE MOVIMIENTOS (GM)	GRUPO DE CARRILES (GC)
1	Izquierda Directo Derecha	GM 1	GC 1
2	Exclusiva Izquierda Directo & Derecha	GM 1 GM 2	GC 1 GC 2
2	Izquierda & Directo Directo & Derecha	GM 1	GC 1 GC 2
3	Izquierda Izquierda Directo Directo Directo & Derecha	GM 1 GM 2	GC 1 GC 2 GC 3

Fuente: HCM 2010 – TRB Vol.3, Cap. 18:34 [16]

2. Movimiento y numeración de la fase:

Se observan en la fig. 13, los posibles movimientos que tienen los vehículos y peatones en una intersección dada.

Fig. 13. Grupo de carriles típicos para el análisis



Fuente: HCM 2010 – TRB Vol.3, Cap. 18:4 [16]

### **2.2.3.2. Paso N° 02: Determinación de la tasa de flujo del grupo de movimiento**

Es cualquier flujo de acceso que aún no se ha destinado a un grupo de movimiento, por lo que debe asignarse al grupo de movimiento respectivo [16].

### **2.2.3.3. Paso N° 03: Determinación de la tasa de flujo del grupo de carriles**

En caso que en una vía no haya carriles compartidos, se asumirá entonces que el número de grupo de movimientos será igual al grupo de carril [16].

### **2.2.3.4. Paso N° 04: Determinación de los ajustes de la tasa de flujo de saturación**

El HCM 2010 [16], Para el HCM 2010 [19], es la cantidad de vehículos por hora que pasan en un carril, teniendo en cuenta que la luz del semáforo siempre estará en verde y además el flujo no se detendrá.

Para representar el ajuste del flujo de saturación, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

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

(Ecuación 4)

- S: Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles (veh/hr-carril) o (veh/hr).
- So: Tasa de flujo de saturación ideal por carril. Se define como el flujo por carril que puede pasar por una intersección señalizada. (veh/hr/carril)
- N : Número de carriles del grupo
- Ajuste por ancho de carril ( $f_w$ ): Evalúa el impacto negativo de carriles angostos o impacto positivo en carriles anchos.
- Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ ): Evalúa el espacio que ocupan o dejan de ocupar vehículos pesados de manera negativa o positiva negativamente.

- Ajuste por pendiente del acceso ( $f_g$ ): Evalúa el efecto de la pendiente de la pista ya sea positivo o negativo.
- Ajuste por estacionamientos ( $f_p$ ): Evalúa el efecto de las maniobras de estacionamiento de algunos vehículos que interrumpen el flujo constante de los vehículos que vienen por detrás. Tiene un número máximo de maniobras (180).
- Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ ): Evalúa el efecto de los buses del transporte público que se paran a recoger o dejar pasajeros en cada paradero. Tiene un número máximo de 250 paradas.
- Ajuste por tipo de área ( $f_a$ ): Evalúa el tipo de zona donde se encuentra la intersección: zona residencial, zona comercial o zona financiera.
- Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ ): Evalúa la distribución desigual del tráfico entre los carriles en un grupo de carriles con más de un carril.
- Ajuste por giros a la derecha ( $f_{RT}$ ): Evalúa el efecto de la geometría dependiendo si los giros se realizan de un carril exclusivo o compartido y de la proporción de vehículos que giran a la derecha.
- Ajuste por giros a la izquierda ( $f_{LT}$ ): Evalúa si los giros son permitidos o protegidos, y si son desde un carril exclusivo o compartido.
- Ajuste por peatones y bicicletas ( $f_{Lpb}$  y  $f_{Rpb}$ ): Evalúa los efectos de bloqueo por los peatones y las bicicletas que van en las 2 direcciones, derecha e izquierda

Tabla 3. Resumen de los valores recomendados por diferentes manuales

	HCM			Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections	AaSitra	Capacity and Level of Service of Finnish	German Guidelines
Desarrollado en	USA			Canadá	Australia	Finlandia	Alemania
Autores	Transportation Research Board			Teply S, Allingham. D.I., Richardson. D.B, Stephenson. B.W	Akcelik & Associates	Luttinen, R., and Nevala, R	Brilon et al
Año	2000	2010 <250,000 Hab	2010 >250,000 Hab	2006	2000	2002	2002
So	1900	1750	1900	1600-2100	1950	1700	1800

Fuente: M. L. Abrieu, Córdoba, 2012. [18]

## a) Ajuste por ancho de carril

En este ajuste se debe tener en cuenta que para un ancho de carril de 3 a 4 metros, no se aplicará factor de ajuste; sin embargo si es menor o mayor a este rango se considerará lo siguiente:

Tabla 4. Factores de ajuste

PROMEDIO DE ANCHO DE CARRIL (m)	FACTOR DE AJUSTE (fv)
<3	0.96
≥3-4	1
>4	1.04

Fuente: HCM 2010 – TRB Vol.3, Cap. 18:36 [16]

## b) Ajuste por vehículo pesado:

Para este ajuste se aplicará la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)}$$

(Ecuación 5)

Donde:

- $E_T$  = Número equivalente de vehículos directos por cada vehículo pesado;  $E_T = 2.0$
- $P_{HV}$  = Porcentaje de vehículos pesados en el grupo de movimiento correspondiente

## c) Ajuste por pendiente:

Se tendrá en cuenta si la vía a analizar tiene pendiente positiva o negativa, calculándolo mediante la siguiente ecuación:

$$f_g = \frac{P_g}{200}$$

(Ecuación 6)

Donde:

- $P_g$  = Pendiente de aproximación para el grupo de movimiento correspondiente (%)

## d) Ajuste por estacionamiento:

Para casos donde en la vía a trabajar no exista estacionamiento, se considerará un factor de uno; sin embargo, si existe estacionamiento se deberá calcular con la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18 N_m}{3,600}}{N} \geq 0.050$$

(Ecuación 7)

Donde:

- N = Número de carriles en un grupo de carriles (carril)
- Nm = Tasa de maniobra de estacionamiento adyacente al grupo de carriles (maniobras/h)

e) Ajuste por bloqueo de buses

Para este ajuste se tendrá un máximo factor de 250 paradas de buses. Para hallar el valor real se considera utilizar la siguiente ecuación [16]:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 N_b}{3,600}}{N} \geq 0.050$$

(Ecuación 8)

Donde:

- N = Número de carriles en un grupo de carril (carril)
- Nb = Tasa de parada del autobús en el acceso en (buses/h)

f) Ajuste por tipo de área:

Este ajuste es opcional a escoger, siempre y cuando las intersecciones a trabajar se encuentran dentro de la ciudad, tomando de esta manera un valor de 0.90 [16].

g) Ajuste por utilización de carril:

Este ajuste se trabaja solo y cuando existan carriles exclusivos, si no se da el caso se tomará el valor de 1.0. Si hay presencia de éstas, entonces se hallará mediante la siguiente ecuación:

$$f_{LU} = \frac{V_g}{N_e V_{g1}}$$

(Ecuación 9)

Donde:

- $fLU$  = Factor de ajuste por utilización de carril
- $Vg$  = Tasa de flujo de demanda para el grupo de movimiento (veh/h)
- $Vg1$  = Número de carriles exclusivos en el grupo de movimiento (carril)
- $Ne$  = Tasa de flujo de demanda en el único carril exclusivo con la mayor tasa de flujo de todos los carriles exclusivos en el grupo de movimiento (veh/h/carril)

### 2.2.3.5. Paso N° 05: Determinación de la proporción que llega durante el verde

Para hallar la cantidad de vehículos que llega en verde, necesitamos los valores del tiempo efectivo en verde  $g$  y la duración del ciclo  $C$ . Estos valores se conocen debido a la operación predeterminada, es decir, de periodo establecido o tiempo fijo [16].

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

(Ecuación 10)

Donde:

- $P$  = Proporción de vehículos que llegan en verde
- $C$  = Ciclo semafórico (s)
- $g$  = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (s)
- $RP$  = Relación en pelotón.

Tabla 5. Relación entre el tiempo de llegada

RELACIÓN DE PELOTÓN	TIPO DE LLEGADA	CALIDAD DE LA PROGRESIÓN
0.33	1	Muy pobre
0.67	2	Desfavorable
1.00	3	Llegadas aleatorias
1.33	4	Favorable
1.67	5	Muy favorable
2.00	6	Excepcionalmente favorable

Fuente: HCM 2010 – TRB Vol.3, Cap. 18:12 [16]

### 2.2.3.6. Paso N° 06: Determinación de la duración de la fase semafórica

La duración de la fase del semáforo depende del tipo de control utilizado en la intersección en estudio. Por un lado, si el semáforo es de periodos establecidos, la duración

de la fase será un dato conocido que puede ser cambiado de acuerdo a un programa específico, así que este paso se omite.

$$\mathbf{D_P = I_1 + g_s + g_e + Y + R_c}$$

(Ecuación 11)

Donde:

- DP = Duración de la fase (s)
- I1 = Tiempo perdido al inicio de la fase debido al arranque; I1 = 2.0 (s)
- gs = Tiempo de servicio de cola (s)
- ge = Tiempo de extensión de la indicación verde (s)
- Y= Intercambio de ámbar (s)
- Rc = Intervalo de despeje en rojo (s)

Por último, el tiempo de verde efectivo se estima por medio de la Ecuación:

$$\mathbf{g = D_P - I_1 - I_2 = g_s + g_e + e}$$

(Ecuación 12)

Donde:

- I2 = Tiempo perdido de despeje; I2 = [Y + Rc - e] (s)
- e = Extensión del tiempo de verde efectivo; e = 2.0 (s)

### ***2.2.3.7. Paso N° 07: Determinación de la capacidad y la relación de volumen y capacidad***

La capacidad es el valor máximo de vehículos que atraviesan una intersección en un plazo de 0 a 60 minutos (mayormente se trabaja en tiempos de 15 minutos de la hora punta), que se rigen bajo condiciones de tráfico y en la geometría de la vía.

$$\mathbf{c = N s \frac{g}{C}}$$

(Ecuación 13)

Donde:

- $c$  = Capacidad (veh/h)
- $N$  = Número de carriles en un grupo de carriles
- $s$  = Tasa de saturación ajustada
- $g$  = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (s)
- $C$  = Ciclo semafórico o duración del ciclo semafórico (s)

La relación volumen-capacidad es un valor esencial para el análisis de capacidad como también para el nivel de servicio, pues no permite hallar el ratio de la relación entre el flujo de demanda y la capacidad de un acceso. Un valor óptimo para la relación sería  $v/c$ .

$$\mathbf{X = \frac{v}{c}}$$

(Ecuación 14)

Donde:

- $X$  = Relación volumen-capacidad ( $v/c$ ) para el grupo de carriles
- $v$  = Flujo de demanda (veh/h/acceso)
- $c$  = Capacidad (veh/h/acceso)

#### ***2.2.3.8. Paso N° 08: Determinación de demoras***

Este parámetro representa la demora total de los vehículos al pasar por un acceso en un determinado tiempo de análisis. Esta demora se calcula con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{d = d_1 + d_2 + d_3}$$

(Ecuación 15)

Donde:

- $d$  = Demora total del sistema, o demora por control por vehículo (s/veh)
- $d_1$  = Demora uniforme, asumiendo llegadas uniformes (s/veh)
- $d_2$  = Demora incremental que toma en cuenta los efectos de llegadas aleatoria y colas sobresaturadas (s/veh)
- $d_3$  = Demora por cola inicial (s/veh)

a) Demora uniforme “ $d_1$ ”:

CAL Y MAYOR & CÁRDENAS (2007), nos indica que esta demora es la que se presenta cuando la llegada de los vehículos es uniforme y sin cola inicial. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_1 = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) * \frac{g}{C}\right]}$$

(Ecuación 16)

Donde:

- $d_1$  = Demora uniforme, asumiendo llegadas uniformes (s/veh)
- $C$  = Ciclo semafórico (s)
- $g$  = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (s)
- $X$  = Relación volumen-capacidad  $v/c$  para el grupo de carriles

b) Demora incremental “ $d_2$ ”:

Esta demora se presenta cuando la llegada de los vehículos no es uniforme y sin cola inicial. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_2 = 900 * T * \left[ (X_A - 1) + \sqrt{(X_A - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X_A}{c_A * T}} \right]$$

$$X_A = v/c_A$$

(Ecuación 17)

Donde:

- $d_2$  = Demora incremental que toma en cuenta los efectos de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas (s/veh)
- $X_A$  = Relación volumen-capacidad promedio
- $T$  = Duración del período de análisis (h)
- $c_A$  = Capacidad, en exceso de demanda, del grupo de carriles (veh/h)
- $k$  = Factor de demora incremental que depende del tipo de semáforo instalado en la intersección
- $I$  = Factor de ajuste por ingresos a la intersección corriente vehicular arriba

c) Demora por cola inicial "d3"

Para esta última demora, se considera el valor de las demoras incrementales que fueron calculadas. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_3 = \frac{3,600}{v * T} \left( t_A * \frac{Q_b + Q_e - Q_{eo}}{2} + \frac{Q_e^2 - Q_{eo}^2}{2 * c_A} - \frac{Q_b^2}{2 * c_A} \right)$$

(Ecuación 18)

$$\text{Si: } v \geq c_A \rightarrow Q_e = Q_b + t_A (v - c_A)$$

$$Q_{eo} = T (v - c_A)$$

$$t_A = T$$

$$\text{Si: } v < c_A \rightarrow Q_{eo} = 0.0 \text{ veh}$$

$$t_A = \frac{Q_b}{(c_A - v)} \leq T$$

Donde:

- $d_3$  = Demora por cola inicial (s/veh)
- $T$  = Duración del período de análisis (h)
- $t_A$  = Duración ajustada de la demanda insatisfecha en el periodo de análisis (h)
- $c_A$  = Capacidad, en exceso de demanda, del grupo de carriles (veh/h)
- $Q_e$  = Cola al final del período de análisis (veh),
- $Q_{eo}$  = Cola al final del período de análisis cuando  $v \geq c_A$  y  $Q_b = 0.0$  (veh)

### 2.2.3.9. Paso N° 09: Determinación del nivel de servicio

Una vez teniendo el valor de la demora por control, podemos emplear la siguiente tabla para hallar el nivel de servicio correspondiente, pues mediante letras de la A hasta la F (donde A tiene un confort bueno y para F existen condiciones de colapso vehicular) nos indica la demora en la intersección por los vehículos en un determinado tiempo de análisis.

Tabla 6. Criterio del Nivel de Servicio

DEMORA POR CONTROL (s/veh)	NIVEL DE SERVICIO (NS) - RELACIÓN V/C	
	≤ 1.0	> 1.0
≤ 10	A	F
> 10 - 20	B	F
> 20 - 35	C	F
> 35 - 55	D	F
> 55 - 80	E	F
> 80	F	F

Fuente: HCM 2010 – TRB Vol.3, Cap. 18:6 [16]

### 2.2.3.10. Paso N° 10: Determinación de la Relación de Almacenamiento en Cola

Para este trabajo de presentación, este paso no forma parte.

### 2.2.4. Synchro 8.0

Synchro es un software de modelado, gestión, optimización y simulación de sistemas de tráfico. Fue desarrollado por Trafficware en el año 2011, desde entonces fueron salieron versiones mejoradas, para facilitar a los usuarios la funcionalidad y experiencia del software, de la misma forma Synchro tiene incorporado el programa SimTraffic, que tiene la capacidad de animación y modelado del desplazamiento vehicular. A su vez sigue la metodología HCM 2010 [19].

#### 2.2.4.1. Funciones principales: [19]

- Análisis de la capacidad en intersecciones con y sin semáforo.
- Coordinación de semáforos mediante longitud de ciclo y optimización de fases.
- Optimización de la compensación de tiempos de fases y duración del ciclo.
- Modelación y simulación macroscópica de la malla vial.

- Modelación y simulación mesoscópica con Simtraffic y macroscópica de la red vial.
- Al mismo tiempo realiza la evaluación del funcionamiento de las intersecciones, tanto con o sin semáforo.
- Generación de planes de sincronización de semáforos.

#### 2.2.4.2. Métodos independientes

En síntesis, para analizar intersecciones semaforizadas, Synchro ofrece tres métodos independientes:

- Demora Percentil de Synchro
- Método Semaforizado de HCM
- Método ICU, analiza y calcula la capacidad que tiene una intersección, este es un método alternativo en Synchro, un punto a favor de este método es que evalúa las capacidades de intersecciones no semaforizadas.

Tabla 7. Características de cada técnica

	DEMORA DE SYNCHRO	MÉTODO HCM	ICU
Medidas de efectividad	Demora	Demora y v/c	v/c
Aplicaciones de destino	Funcionamiento y sincronización del semáforo	Funcionamiento y planificación	Planificación, estudios de impacto y diseño de vías.
Precisión esperada	10% a 27%	10% a 29%	3% a 10%
Otras Fuentes de cálculo	No	Software compatible con HCM	Hoja de cálculo
Requisitos de tiempo peatonal	Si	No	Si
Modelamiento detallado de la coordinación	Si	No	No
Modelamiento detallado del semáforo accionado por el tránsito	Si	No	No

Fuente: Trafficware 2011: User Guide–Cap. 14: 48 [19]

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Avenida:** Suele ser una calle ancha de dos sentidos y la calzada está separada por una barandilla central. Varios tipos de vías arteriales y colectoras se han clasificado como avenida [12]

- **Congestionamiento Vehicular:** congestión significa, la función y el efecto de obstruir el tráfico; la circulación y el movimiento de un vehículo [20]
- **Parque Automotor:** representa la cantidad de vehículos (que incluye vehículos ligeros como pesados) que transitan en una ciudad [3].
- **Tránsito:** Es el estudio del paso de peatones, animales y vehículos de cualquier naturaleza que se movilizan por tierra, agua y aire [12].
- **Nivel de Servicio:** Es la calidad del servicio proporcionado por la infraestructura vial, refleja el nivel de satisfacción o decepción experimentado por los usuarios al utilizar las vías [16]
- **Vías:** Es un terreno conveniente para el transporte de cualquier naturaleza. Puede ser el resultado de cortes, terraplenes, secciones mixtas sobre o dentro de obras de arte (puentes o viaductos, túneles). Las carreteras, autopistas, carreteras, avenidas, calles públicas y privadas están incluidas en esta definición [12].
- **IMDA:** Es el volumen diario en un año respectivo de un tramo vial. Permite calcular la viabilidad por lo que es de suma importancia para determinar los aspectos generales de una carretera [13].
- **Rotondas:** Es un cruce giratorio sobre un plano horizontal, también llamado rotonda, que se caracteriza porque el flujo de vehículos que ingresan a la rotonda a través de sus ramales pasa por una circulación circular [13].
- **Hora Pico:** Es la hora punta cuando el volumen de tráfico alcanza el volumen más alto [16].

- **Flujo de Saturación:** Se define como la cantidad de vehículos que pasan en el carril o grupo de carriles cuando el semáforo está en luz verde [16]
- **Señales de Tránsito:** Son señales de cumplimiento obligatorio que se representan gráficamente en una carretera (pueden ser de prevención o de información) que toda persona que conduce necesita saber para su seguridad, en pocas palabras son nuestra guía [3].

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### *3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS*

##### **Tipo de investigación:**

Investigación Descriptiva, ya que este tipo de investigación, consiste en la elaboración de propuestas para dar solución a una necesidad o problema de tipo práctico en este caso del congestionamiento vehicular que se dan en dos avenidas importantes del Perú. Sin embargo, esta investigación no solo se basa en dar una propuesta, sino también en proponer alternativas de cambio, el cual se seguirá un proceso de recolección de información y diseño, pues estos puntos son de suma importancia para que los resultados de la investigación sean más precisos.

##### **Diseño de contrastación de hipótesis**

- Investigación: Descriptiva.
- Con respecto al análisis de datos que se llevará a cabo es práctico, en este caso el congestionamiento vehicular.

#### *3.2. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS*

La optimización del flujo vehicular de la Intersecciones viales del Perú, disminuirá el congestionamiento vehicular en esta intersección en investigación. A su vez, el análisis de las diferentes alternativas de solución realizadas con el software Synchro 8.0, nos facilitará una solución óptima para el descongestionamiento vial.

#### *3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN*

##### **Variable independiente:**

Análisis vial de las intersecciones.

##### **Variable dependiente:**

Mejorar el flujo Vehicular

## Operacionalización de variables:

Tabla 8. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Congestionamiento Vehicular	Condición del flujo vehicular que se ve saturado a causa del exceso de demanda de las vía, provocando de esta manera, los incrementos en los tiempos de viaje	Diagnostico del tráfico vehicular que pasan por las intersecciones para su posterior modelado, optimización, gestión y simulación de sistemas de tráfico.	Condiciones geométricas	Zonificación	---
				Número de carriles	#
				Ancho de carril	mts.
			Condiciones de tránsito	IMDA	veh/día
				Factor de hora pico	veh/hr.
				Velocidad	km/hr.
				Grado de saturación	niveles
			Condiciones semafóricas	Demoras	%
				Longitud de ciclo	seg.
				Tiempo del verde efectivo	
Tiempo de ámbar					
Tiempo de "todo rojo"					

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO

#### Población:

La población propuesta para el desarrollo de la investigación constituye las intersecciones viales de todo el país, que cuenta con estos problemas de tráfico vehicular.

#### Muestra:

Para la muestra se tendrá en cuenta las intersecciones del Perú, teniendo cuenta una base de muestreo por su importancia y el grado de congestión, siendo uno de los puntos más críticos del tránsito vehicular en la ciudad de Chiclayo. Además de fuentes de investigación acerca del tema.

### 3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 9. Técnicas e instrumentos, con su aplicación

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Aplicación</b>
<i>Observación en campo</i>	<i>Visual y cámara fotográfica</i>	<i>Diagnóstico del tráfico vehicular</i>
<i>Análisis de documentos</i>	<i>Libros, revistas, tesis, páginas web</i>	<i>Recopilar información de las condiciones geométricas, de tránsito y de semaforización.</i>
<i>Medición en campo</i>	<i>Aforo vehicular, cinta métrica</i>	<i>Conteo de vehículos que pasan por las intercepciones. Medición de las dimensiones de las calzadas y veredas.</i>
<i>Análisis vial</i>	<i>Software Synchro</i>	<i>Modelado, optimización, gestión y simulación de sistemas de tráfico.</i>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO

1. Diagnóstico del tráfico vehicular de las intersecciones a analizar
2. Recopilación de información bibliográfica.
3. Revisión de norma, que estén alineadas a la investigación: HCM 2010, Manual de Diseño Geométrico DG-2018.
4. Determinación del volumen vehicular de las intersecciones en horas puntas.
5. Elaboración de flujogramas para determinar los movimientos y los sentidos realizados por los vehículos.
6. Determinación de la velocidad de operación
7. Realizar la simulación de tráfico en el software Synchro 8.0.
8. Determinar el nivel de servicio actual con ayuda del software Synchro 8.0.
9. Determinación del grado de saturación actual en Synchro 8.0.
10. Determinación del tiempo de demora actual en las intersecciones con Synchro 8.0.
11. Determinación del nivel de servicio de ICU en Synchro 8.0.
12. Realización de tablas con los indicadores por cada intersección.
13. Modelado de simulación con la propuesta de solución haciendo uso del software Synchro 8.0.

14. Determinación del nivel de servicio propuesto en Synchro 8.0.
15. Determinación del grado de saturación propuesto en Synchro 8.0.
16. Determinación de la demora propuesta para las intersecciones en Synchro 8.0.
17. Determinación del nivel de servicio de ICU propuesto en Synchro 8.0.
18. Realización de las tablas con los indicadores por cada intersección propuesta.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *4.1. Estado de conocimiento acerca de la Ingeniería de Tránsito, la Metodología HCM 2010 y el uso del Software Synchro 8.0*

De acuerdo con las diferentes fuentes bibliográficas consultadas nacionales, el conocimiento empírico y científico sobre el uso de la Metodología HCM 2010 y el Software Synchro 8.0, como herramienta de modelación para dar propuestas de solución de congestión vehicular, especialmente a nivel nacional, donde la investigación aplicada en cualquier rama de la ingeniería es muy reducida. A nivel nacional, se han realizados proyectos de investigación haciendo uso de estas Metodologías y Software. A nivel Internacional también hacen uso de estas en los países de Ecuador, Estados Unidos, Chile, Colombia, Venezuela; así como en algunos países Europeos como España, Holanda, Dinamarca y Alemania, son algunos estados que aplican este proceso para dar soluciones ante el incremento del parque automotor, el cual genera congestión en las intersecciones y más aún en hora punta, contribuyendo de esta manera con algunos artículos, proyectos de tesis que han demostrado experimentalmente la utilidad de emplear estas metodologías; sin embargo, a nivel nacional siguen siendo insuficientes respecto al conocimiento de estas; por lo que en esta investigación nos centraremos en la problemática nacional y analizar cuáles fueron sus posibles soluciones.

Este estudio considera que es de suma importancia que a nivel local y nacional se impulse la investigación aplicada en la rama de la Ingeniería de Tránsito. Asimismo, sería de mucho agrado que sigan investigando el tema de implementar software como herramienta a soluciones de tráfico vehicular en distintas partes del Perú, ya que ese problema no solo se da en la capital, sino en la mayoría de departamentos.

#### 4.2. Investigaciones científicas a nivel nacional

Tabla 10. Tesis relacionadas al tema de investigación

<b>TABLA 10:CUADRO RESUMEN DE TESIS EMPLEANDO LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO, METODOLOGÍA MTC 2000 Y EL SOFTWARE SYNCHRO</b>						
<b>Nº</b>	<b>PROCEDENCIA</b>	<b>AUTOR</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>AÑO</b>	<b>PROBLEMÁTICA</b>	<b>SIMULACIÓN SYNCHRO</b>
1	UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS (LIMA)	Del Mar Velarde, Alberto M. Vasquez Palomino, Inés E.	Propuesta para la reducción del congestionamiento vehicular en las avenidas La Marina y Faustino Sánchez Carrión, desde la Av. Antonio José de Sucre hasta la Av. Gregorio Escobedo, mediante el uso del software Synchro 8	2019	Congestionamiento vehicular en aumento en los últimos 5 años, debido al incremento del parque automotor, por lo que las vías analizadas, ocasionan incomodidad a los vecinos aledaños.	SI
2	UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO (ÁNCASH)	Rondoño Chavez, Daniel W.	Análisis Vial en las Intercepciones de la Av. Luzuriaga y San Martín con la Av. Raymondi - Huaraz aplicando el Software Synchro 8.0, para mejorar el flujo vehicular	2018	En esta tesis la problemática es la congestión vehicular y que a su vez trae consecuencias como la contaminación del medio ambiente, el deterioro de la salud de la población, la pérdida económica por el tiempo perdido, etc.	SI
3	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (LIMA)	Vera Lino, Favio J.	Aplicabilidad de las Metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima	2012	En esta de tesis hace un estudio profundo de las metodologías HCM 2000 y Synchro 7, que analizan las intercepciones aisladas con problemas moderados de congestión; sin embargo, hace una revisión profunda, para poder determinar si es posible aplicarla en Lima	SI
4	UNIVERSIDAD DE PIURA (PIURA)	Ríos Cardich, Esteban	Modelación del Tránsito y Propuesta de Solución Vial a la Av. Cáceres con Infracworks y Synchro 8	2018	La problemática es el crecimiento del parque automotor, el cual repercute directamente en el transporte; a su vez indica que no existe una planificación de gestión de tránsito.	SI

5	UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA (TACNA)	Condori Mamani, Abel J. Lipa Flores, Joseph C.	Optimización del flujo vehicular en la Intersección Vial de la Avenidad Bolognesi con la Avenida Basadre y Forero, ciudad de Tacna	2018	Hacen mención que el principal problema que afronta Tacna, es el tráfico vehicular por lo que la sociedad y el medio ambiente se ven afectados por la acumulación de gases debido al congestionamiento	SI
6	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ (HUANCAYO)	Osores Torres, Victor O.	Evaluación del Nivel de Servicio por Análisis de Tráfico en la Intersección Semaforizada Mariscal Castilla - Julio Sumar El Tambo, 2015	2016	Indica que Huancayo presenta problemas de tráfico vehicular, dando una evolución drástica en la excesiva cantidad de vehículos a razón del acelerado crecimiento poblacional	SI
7	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO (JULIACA)	Gutierrez Zúñiga, David	Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras 2010 y el Software Synchro 8.5 para la Optimización de los Semáforos en el centro de la Ciudad de Juliaca	2019	La problemática es la situación actual que atraviesa Juliaca con respecto al flujo vehicular saturado, debido al crecimiento del parque automotor con una tasa promedio anual de 3.04%	SI
8	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL (LIMA)	Palomino Altez, Salvador J.	Propuesta de Gestión Vial para reducir la Congestión Vehicular y su Impacto Social en la Intersección de la Av. Arequipa con la Av. Aramburú	2018	El aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial, ha causado en el Perú, más congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales	NO
9	UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO (LAMBAYEQUE)	Incio Zapata, Danny E.	Evaluación del Congestionamiento Vehicular en la Ciudad de Chiclayo y Propuesta de mejora	2014	Chiclayo afronta el problema en el sistema de transporte público, que se pueden apreciar el Congestionamiento Vehicular en sus calles, que se produce como consecuencia de la informalidad, falta de mantenimiento de vías, crecimiento del parque automotor, centralismo, entre otras	NO

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro 10, la problemática del congestionamiento vehicular se da en diferentes ciudades, por lo que los autores viendo la problemática, han desarrollado la investigación, haciendo uso de la Metodología del HCM 2010 y el Software Synchro, para posteriormente dar posibles soluciones. Sin embargo, las investigaciones son pocas a nivel nacional a pesar que la problemática que se tiene actualmente.

Fig. 14. Causas de la congestión de tráfico



Fuente: GEOTAB

Según Geotab [21], las causas del congestionamiento vehicular son:

- Cuellos de botella o tramo de una vía (40%)
- Incidentes de tráfico (25%)
- Mal clima (15%)
- Zonas de trabajo (10%)
- Semáforos mal sincronizados (5%)
- Eventos especiales (5%)

Tipos de congestión:

Según el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT), existen 2 tipos de congestión de tráfico: recurrente y no recurrente; el primero trata del tráfico que sucede a diario a falta de capacidad de una vía y el segundo son las interrupciones temporales, como el retraso de traslado o el choque de un auto [21].

Categorías específicas del tipo de congestionamiento vehicular:

- Ambiental ( no recurrente )
- Mecánico ( no recurrente )
- Humano ( no recurrente)
- Infraestructura (recurrente)

### 4.3. Posibles soluciones de los distintos temas de investigación

Tabla 11. Propuestas para la problemática

<b>TABLA 11 : PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO VIAL EN INTERCEPCIONES</b>				
<b>Nº</b>	<b>PROCEDENCIA</b>	<b>AUTOR</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>PROPUESTAS</b>
1	UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS (LIMA)	Del Mar Velarde, Alberto M. Vasquez Palomino, Inés E.	Propuesta para la reducción del congestionamiento vehicular en las avenidas La Marina y Faustino Sánchez Carrión, desde la Av. Antonio José de Sucre hasta la Av. Gregorio Escobedo, mediante el uso del software Synchro 8	Para el funcionamiento óptimo, se propuso eliminar los giros a la izquierda y emplear el grado de saturación y tiempo de demora.
2	UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO (ÁNCASH)	Rondoño Chavez, Daniel W.	Análisis Vial en las Intercepciones de la Av. Luzuriaga y San Martín con la Av. Raymondi - Huaraz aplicando el Software Synchro 8.0, para mejorar el flujo vehicular	Diseño de parámetro semafórico y optimización; coordinación semafórica; establecer paradero fijos para los vehículos de transporte público, etc
3	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (LIMA)	Vera Lino, Favio J.	Aplicabilidad de las Metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima	Sería necesario incorporar algunos factores de reducción para poder trabajar las metodologías del HCM 2000 y Synchro
4	UNIVERSIDAD DE PIURA (PIURA)	Ríos Cardich, Esteban	Modelación del Tránsito y Propuesta de Solución Vial a la Av. Cáceres con Infracworks y Synchro 8	Deben implementarse semáforos con capacidad para más de 2 fases y que se debe tener detectores vehiculares en los carriles de giro a la izquierda.

5	UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA (TACNA)	Condori Mamani, Abel J. Lipa Flores, Joseph C.	Optimización del flujo vehicular en la Intersección Vial de la Avenidad Bolognesi con la Avenida Basadre y Forero, ciudad de Tacna	Opta por restringir giros de lado izquierdo de la Av. Bolognesi, también propone mejorar los tiempos de semaforización y fase
6	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ (HUANCAYO)	Osores Torres, Victor O.	Evaluación del Nivel de Servicio por Análisis de Tráfico en la Intersección Semaforizada Mariscal Castilla - Julio Sumar El Tambo, 2015	Reorganización, regulación y racionalización del transporte público; o efectuar un cambio radial en el medio de transporte proponiendo el uso de ómnibuses de alta capacidad
7	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO (JULIACA)	Gutierrez Zúñiga, David	Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras 2010 y el Software Synchro 8.5 para la Optimización de los Semáforos en el centro de la Ciudad de Juliaca	Recomienda a las autoridades de subgerencia de transportes y circulación vial del Municipio de Juliaca, aplicar las metodologías del Synchro y HCM; también implementar la ubicación de paraderos urbanos estratégicos en las distintas intercepciones
8	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL (LIMA)	Palomino Altez, Salvador J.	Propuesta de Gestión Vial para reducir la Congestión Vehicular y su Impacto Social en la Intersección de la Av. Arequipa con la Av. Aramburú	Evitar los giros a la izquierda, ya que restan la capacidad en las intersecciones y retardan el flujo vehicular, Proponer el rediseño de la Geometría Vial
9	UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO (LAMBAYEQUE)	Incio Zapata, Danny E.	Evaluación del Congestionamiento Vehicular en la Ciudad de Chiclayo y Propuesta de mejora	Se propone que solo circulen taxis y mototaxis en situación formal, con el fin de descongestionar el anillo vial; además se deberán proponer otras rutas para ayudar a descongestionar el centro

Fuente: Elaboración propia

INVESTIGACIÓN 1:

Tabla 12. Indicadores de la red vial

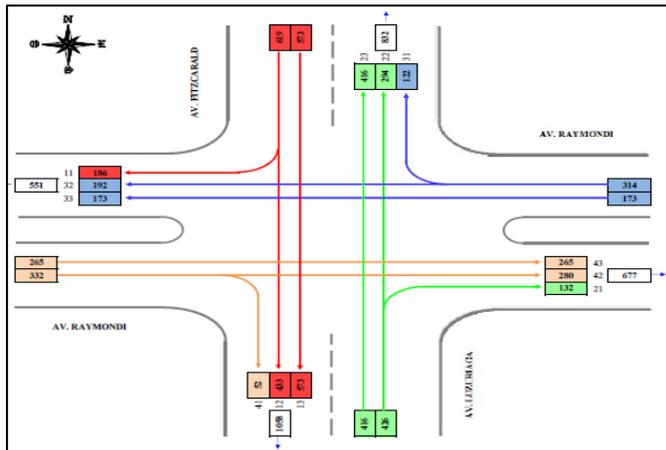
SITUACIÓN PROPUESTA	INTERSECCIÓN N° 1				INTERSECCIÓN N° 2			
	→	←	↓	↑	→	←	↓	↑
NIVEL SERVICIO DE LA VÍA	C	A	D	F	A	C	F	F
NIVEL SERVICIO INTERSECCION	C				F			
GRADO DE SATURACIÓN	0.94	0.84	0.82	1.15	0.84	0.97	1.15	1.57
CICLO SEMAFÓRICO (s)	120				120			
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (s)	33.80				101.80			
NIVEL DE SERVICIO DE ICU (%)	74.60				85.60			
SITUACIÓN PROPUESTA	INT. ADICIONAL			INTERSECCIÓN N° 4				
	←U	←	↑U	→	←	↓	↑	
NIVEL SERVICIO DE LA VÍA	F	F	C	B	B	F	E	
NIVEL SERVICIO INTERSECCION	F			C				
GRADO DE SATURACIÓN	1.42	1.12	0.31	0.79	0.77	1.06	0.96	
CICLO SEMAFÓRICO (s)	110			120				
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (s)	156.60			27.50				
NIVEL DE SERVICIO DE ICU (%)	131.80			71.70				

Comentario 1:  
 En la tabla 12, determina por cada intersección, su nivel de servicio de la vía, además propone un tiempo de ciclo semafórico y demora por intersección, con el fin de reducir el congestionamiento vehicular.

Fuente: Tesis UPC

INVESTIGACIÓN 2:

Fig. 15. Flujo vehicular propuesto

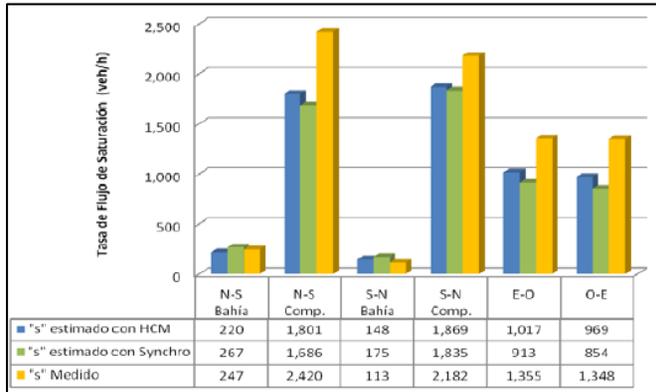


Comentario 2:  
 En la figura 15, propone un flujo ideal para las intersecciones Av. Luzuriaga – Av. Fitzcarald – Av. Raymondi, con el fin de tener un tránsito óptimo.

Fuente: Tesis UNASAM

INVESTIGACIÓN 3:

Fig. 16. Flujo vehicular estimado con HCM y Synchro



**Comentario 3:**  
 En la figura 16, propone un flujo de saturación estimadas y medidas directamente, según su grupo de carriles para un determinado tiempo.

Fuente: Tesis PUCP

INVESTIGACIÓN 4:

Fig. 17. Esquema tentativo de línea de buses propuesta

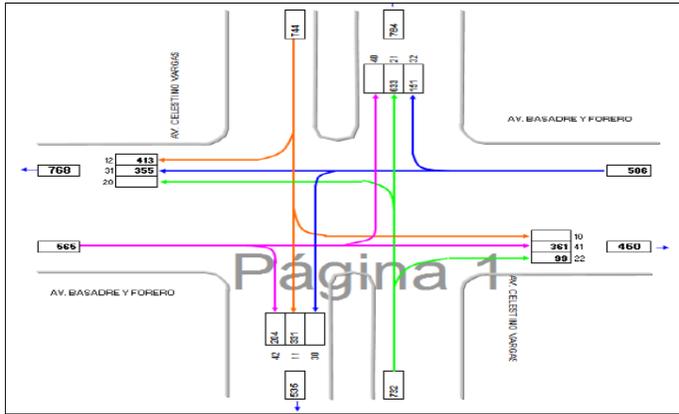


**Comentario 4:**  
 En la figura 17, se da la propuesta de cómo sería el recorrido de los buses en las diferentes arterias de Piura, el cual estima que el tiempo de recorrido desde el Óvalo Cáceres hasta el Open Plaza, sería de 3.5 minutos.

Fuente: Tesis UDEP

INVESTIGACIÓN 5:

Fig. 18. Flujo vehicular propuesto



**Comentario 5:**  
 En la figura 18, propone un flujo ideal para las intersecciones Av. Basadre – Av. Celestino Vargas, con el fin de tener un tránsito óptimo.

Fuente: Tesis UPT

INVESTIGACIÓN 6:

Fig. 19. Ciclo de semáforo y tiempos verdes propuestos

Phase	%ile	Green	Termination	10	20	30	40
2 S ETL	Max	21.0	Max	[Green bar]			
	90th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	70th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	50th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	30th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	10th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
4 S BTL	Max	33.0	Max	[Green bar]			
	90th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	70th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	50th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	30th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	10th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
6 S WTL	Max	21.0	Max	[Green bar]			
	90th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	70th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	50th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	30th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
	10th	21.0	Max Recall	[Green bar]			
8 N BTL	Max	33.0	Max	[Green bar]			
	90th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	70th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	50th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	30th	33.0	Coordinated	[Green bar]			
	10th	33.0	Coordinated	[Green bar]			

**Comentario 6:**  
 En la figura 19, se propones los tiempos de ciclo de semáforo y tiempos de verde en la intersección Julio Sumar – Mariscal Castilla

Fuente: Tesis UNCP

## INVESTIGACIÓN 7:

Tabla 13. Intersecciones analizadas optimizadas

INTERSECCIONES	CICLO DE SEMAFORO	CICLO DE SEMAFORO	RELACION (V/C)	RELACION (V/C)	DEMORA EN LA INTERSECCION	DEMORA EN LA INTERSECCION	NIVELES DE SERVICIO ACTUAL	NIVELES DE SERVICIO OPTIMIZADO
	ACTUALMENTE	OPTIMIZADO	ACTUALMENTE	OPTIMIZADO	ACTUALMENTE	OPTIMIZADO		
	(seg.)	(seg.)			(seg.)	(seg.)		
JR. 2 DE MAYO - JR. SAN ROMAN	126	90	1.53	0.95	144.10	40.60	F	D
JR. CUZCO - JR. SAN ROMAN	113	70	0.87	0.92	112.80	55.40	F	E
JR. BOLIVAR - JR. SAN ROMAN	116	75	1.33	0.93	110.00	78.80	F	E
JR. SAN MARTIN - JR. MARIANO N.	113	70	0.92	0.95	117.40	60.30	F	E

### Comentario 7:

En la tabla 13, se propone un ciclo de semáforo, relación (v/c) y niveles de servicio de manera optimizada para un mejor flujo.

Fuente: Tesis UNAP

## INVESTIGACIÓN 8:

Fig. 20. Propuesta para giros a la izquierda



### Comentario 8:

En la figura 20, se propone para la Av. Arequipa un giro a la izquierda de manera indirecta, con el fin de evitar el congestionamiento entre la Av. Santa Cruz y la Av. Aramburu

Fuente: Tesis UNF

## V. CONCLUSIONES

- Luego de analizar los antecedentes, se concluye que los estudios realizados sobre la influencia de la Metodología HCM 2010 y la aplicación de Software Synchro sobre la problemática del congestionamiento vehicular, tiene resultados y propuestas positivas ante esta problemática.
- En el ámbito nacional, el nivel de conocimiento con respecto al uso de diferentes metodologías y software es mínimo, debido a la poca investigación aplicada y a la limitada investigación por parte de los estudiantes. A nivel internacional los aportes científicos son mayores, sin embargo es parcial a comparación de otras metodologías y software.
- Se ha detallado de manera concisa el procedimiento a seguir de la Metodología HCM 2010 a seguir, para el posterior análisis de las avenidas a investigar. A su vez, también se ha detallado el plan de proceso para el diagnóstico del tráfico vehicular.
- Teniendo en cuenta todas las fuentes de investigación se detalló la problemática y sus posibles propuestas de solución vial a nivel nacional.

## VI. RECOMENDACIONES

- En la actualidad se recomienda recopilar mayor información sobre metodologías, software, procedimientos para la elaboración de investigación basándose en la Ingeniería de tránsito y su problemática, ya que son sucesos que se dan en la vida cotidiana.
- Tener conocimiento amplio de la zona a estudiar, ya que para seguir el procedimiento de la metodología HCM 2010, requiere de datos claves para sus posteriores cálculos.
- Se recomienda que las investigaciones que se utilicen como antecedentes de investigación tengan carácter científico y sean de naturaleza reciente, para que los resultados del análisis descriptivo sea lo más actualizado posible.
- Sería conveniente un estudio puramente cuantitativo respecto a las posibles mejoras y soluciones para el congestionamiento vehicular con la aplicación de software.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Peruano, «El Peruano.pe,» 13 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://elperuano.pe/noticia-renovacion-del-parque-automotor-82422.aspx>.
- [2] A. A. d. Perú, «Asociación Automotriz del Perú,» 2020. [En línea]. Available: <https://tinyurl.com/y94mmrby>.
- [3] D. E. Incio Zapata, Evaluación del Congestionamiento Vehicular en la Ciudad de Chiclayo y Propuestas de Mejora., Chiclayo: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura., 2014.
- [4] S. N. d. I. Ambiental, «Sinia,» Ministerio del Ambiente, [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/966>.
- [5] E. M. Ríos Cardich, Modelación del Tránsito y Propuesta de Solución Vial a la Av. Cáceres con Infracore y Synchro 8, Piura : Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, 2018.
- [6] A. M. Del Mar Velarde y I. E. Vásquez Palomino, Propuesta para la reducción del congestionamiento vehicular en las avenidas La Marina y Faustino Sánchez Carrión, desde la Av. Antonio José de Sucre hasta la Av. Gregorio Escobedo, mediante el uso del software Synchro 8, Lima: Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2019.
- [7] A. J. Condori Mamani y J. C. Lipa Flores, Optimización del flujo vehicular en la Intersección Vial de la, Tacna: Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ingeniería, 2018.
- [8] D. W. Rondoño Chavez, Análisis Vial en las Intersecciones de la Av. Luzuriaga y San Martín con la Av. Raymondi - Huaraz Aplicando el Software Synchro 8.0, para Mejorar el Flujo Vehicular, Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo - UNASAM, Facultad de Ingeniería Civil, 2018.
- [9] F. J. Vera Lino, Aplicabilidad de las Metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para Analizar Intersecciones Semaforizadas en Lima, Lima: Pontificia Unniversidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2012.
- [10] F. X. Acuña Correa, Aplicación de Modelo BIM para Proyectos de Infraestructura Vial, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2016.

- [11] S. J. Palomino Altez, Propuesta de Gestión Vial para Reducir la Congestión Vehicular y su Impacto Social en la Intersección de la Av. Arequipa con la Av. Aramburú, Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, Escuela Universitaria de Postgrado, 2018.
- [12] Perú, Ministerio de Transporte y Comunicaciones , Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, Diseño Geométrico Perú, 2018.
- [13] Perú, Instituto de la Construcción y Gerencia, Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, Lima: VCHI S.A, 2005.
- [14] R. Cal y Mayor Reyes Spíndola y J. Cárdenar Grisales, Ingeniería de Tránsito, México: Alfaomega, 2007.
- [15] R. Fernandez, Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular, Santiago de Chile: Universidad de los Andes, 2008.
- [16] T. R. Board, Highway Capacity Manual 2010, Washington D.C: National Research Council, 2010.
- [17] N. J. Garber y L. A. Hoel, Ingeniería de Tránsito y Carreteras, Virginia: Thomson Editores, 2005.
- [18] M. L. Albrieu, Recomendaciones para la Aplicación de la Metodología del HCM para Intersecciones Semaforzadas en Argentina, Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 2012.
- [19] L. Trafficware, Synchro Studio 8, Florida: Trafficware, 2011.
- [20] R. A. Española, «Diccionario de la Lengua Española,» Asociación de Academias de la Lengua Española, [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/congesti%C3%B3n?m=form>.
- [21] G. Equipo de Noticias, «Geotab,» [En línea]. Available: <https://www.geotab.com/es/causa-congestionamiento-trafico/>.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 01: NOTICIA ESTADÍSTICA DEL PARQUE AUTOMOTOR EN EL PERÚ Y SU POSIBLE PROPUESTA.



Fuente: Diario El Peruano [1]

### ANEXO 02: VENTA DE VEHÍCULOS NUEVOS EN EL PERÚ EN EL 2019



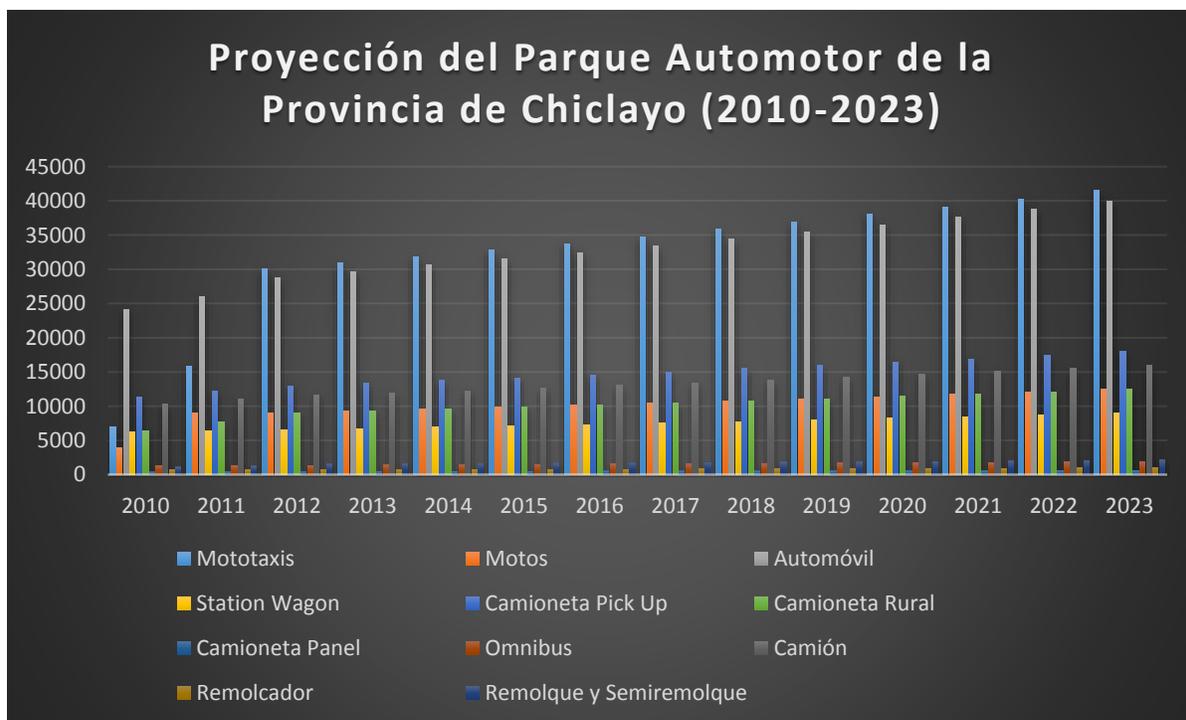
Fuente: Asociación Automotriz del Perú (AAP) [2]

## ANEXO 03: ESTADÍSTICA DEL PARQUE AUTOMOTOR (2010-2023)

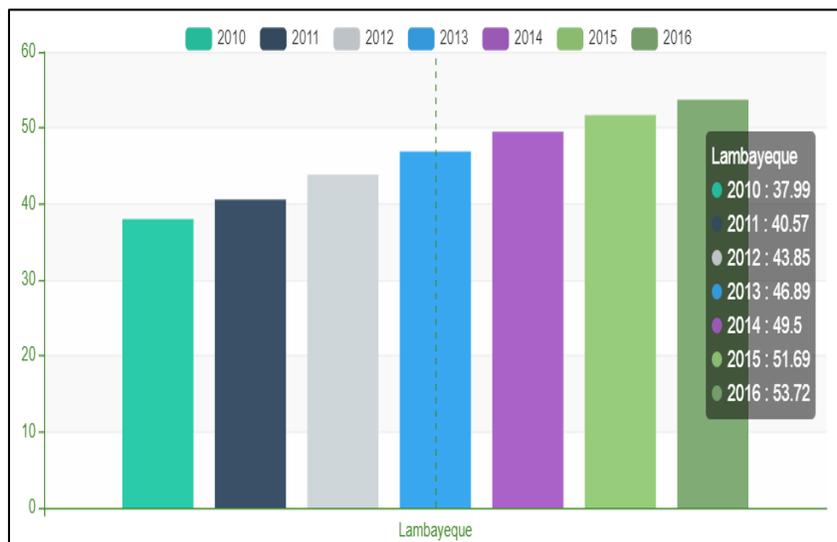
Tipo de Vehículo/Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Mototaxis	6990	15854	30000	30900	31827	32781	33764	34776	35819	36893	37999	39138	40312	41521
Motos	3982	9000	9000	9270	9548	9834	10129	10432	10744	11066	11397	11738	12090	12452
Automóvil	24132	26015	28829	29693	30583	31500	32445	33418	34420	35452	36515	37610	38738	39900
Station Wagon	6196	6355	6509	6704	6905	7112	7325	7544	7770	8003	8243	8490	8744	9006
Camioneta Pick Up	11392	12209	12959	13347	13747	14159	14583	15020	15470	15934	16412	16904	17411	17933
Camioneta Rural	6456	7668	9016	9286	9564	9850	10145	10449	10762	11084	11416	11758	12110	12473
Camioneta Panel	394	416	447	460	473	487	501	516	531	546	562	578	595	612
Omnibus	1324	1355	1368	1409	1451	1494	1538	1584	1631	1679	1729	1780	1833	1887
Camión	10350	10984	11576	11923	12280	12648	13027	13417	13819	14233	14659	15098	15550	16016
Remolcador	703	699	709	730	751	773	796	819	843	868	894	920	947	975
Remolque y Semiremolque	1095	1259	1535	1581	1628	1676	1726	1777	1830	1884	1940	1998	2057	2118
<b>Total</b>	<b>73014</b>	<b>91814</b>	<b>111948</b>	<b>115303</b>	<b>118757</b>	<b>122314</b>	<b>125979</b>	<b>129752</b>	<b>133639</b>	<b>137642</b>	<b>141766</b>	<b>146012</b>	<b>150387</b>	<b>154893</b>

Fuente: Elaboración Propia

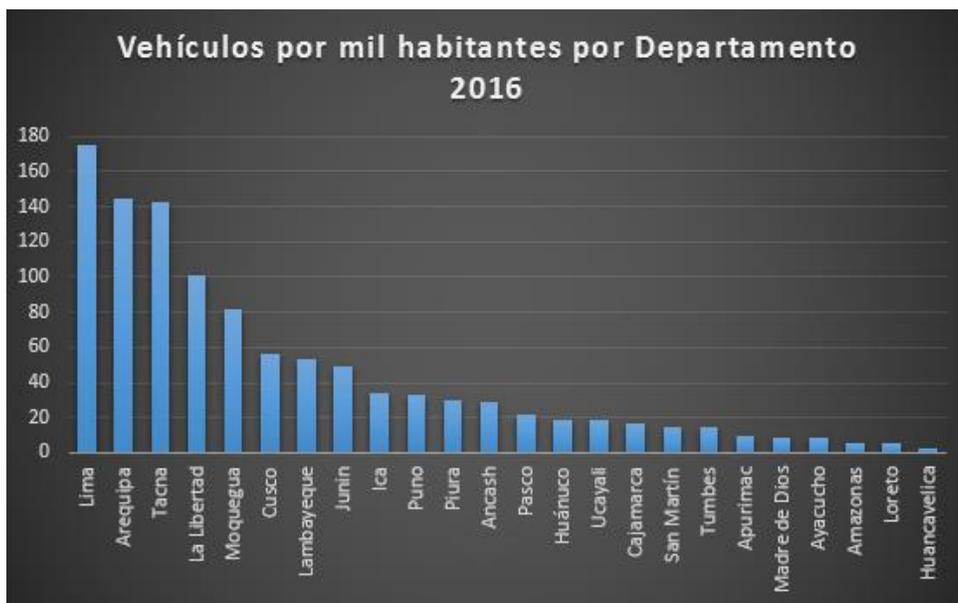
## ANEXO 04: GRÁFICO DE COLUMNAS DEL PARQUE AUTOMOTOR DE CHICLAYO (2010-2023)



ANEXO 05: ESTADÍSTICA DE LA CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR CADA MIL HABITANTES EN LAMBAYEQUE (7mo)



Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) [4]



Fuente: Elaboración propia, a base de dato del SINIA