



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Determinación de los factores de equivalencia vehicular
en las principales vías urbanas de Santa Clara

Autor del trabajo: Ana Beatriz Martínez Cabrera

Tutor del trabajo: Msc. Ing. Luis Enrique Galvez Herrera

Santa Clara, Junio, 2019
Copyright©UCLV



FC
Facultad de
Construcciones

Department of Civil Engineering

DIPLOMA THESIS

Thesis Director: Determination of vehicle equivalence factors in
main urban roads of Santa Clara

Author: Ana Beatriz Martínez Cabrera

Thesis Director: Msc. Ing. Luis Enrique Galvez Herrera

Santa Clara, June, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

DEDICATORIA

A mis padres, porque sin ellos no habría sido posible llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que son el motor que le da sentido a cada paso que doy, por su inmenso amor y su entrega, por darme todo para mí, por caminar a mi lado y darme la seguridad de que puedo llegar muy lejos, por enseñarme a seguir adelante.

A mi familia, por el apoyo incondicional.

A mis amigos, por permitirme recorrer este camino como hermanos, por el apoyo, el cariño, por creer en mí, por compartir las desveladas y superar juntos las dificultades, por las horas de empeño y por las alegrías compartidas.

A mi tutor, por toda la paciencia que tuvo conmigo, por brindarme sus conocimientos y ayudarme en la realización de este proyecto.

A los profesores de la Facultad de Construcciones que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional.

Gracias

RESUMEN

La composición vehicular existente en Cuba y en particular en Villa Clara es heterogénea, debido a que circulan vehículos motorizados y no motorizados, con diferencias significativas en las velocidades, que afecta la capacidad y el nivel de servicio de las vías. Este tema influye en los estudios de Ingeniería de Tránsito donde se realiza la conversión de vehículos mixtos a la unidad de automóvil equivalente homogeneizando el flujo vehicular. El presente trabajo de diploma tiene como finalidad determinar los factores de equivalencia vehicular en zonas llanas de las principales vías urbanas de Santa Clara, mediante la confección de una metodología a partir de la clasificación vehicular propuesta por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara. Los resultados obtenidos se comparan con los indicados en la NC: 53-118-1984, se establecen similitudes y diferencias con dicha norma, donde se demuestra la influencia de los nuevos factores en los estudios de ingeniería del tránsito.

Palabras claves: Vehículos, factores de equivalencia vehicular, vías urbanas, tránsito heterogéneo.

ABSTRACT

The existing vehicle composition in Cuba and in particular in Villa Clara is heterogeneous, due to the fact that motorized and non-motorized vehicles circulate, with significant differences in speeds, which affects the capacity and service level of the roads. This topic influences the studies of Traffic Engineering where the conversion of mixed vehicles to the equivalent car unit is carried out, homogenizing the vehicular flow. The purpose of this diploma work is to determine vehicular equivalence factors in the areas of the main urban roads of Santa Clara, through the preparation of a methodology based on the vehicle classification proposed by the Provincial Center of Traffic Engineering in Villa Clara. The results obtained are compared with those indicated in the CN: 53-118-1984, similarities and differences are established with this norm, where the influence of the new factors in the studies of traffic engineering is demonstrated.

Keywords: Vehicles, vehicular equivalence factors, urban roads, heterogeneous transit.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE.....	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA VEHICULAR EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO	8
1.1 Ingeniería de tránsito	8
1.2 Clasificación de las vías urbanas	9
1.3 Características y tipos de vehículos	11
1.4 Flujo vehicular	17
1.4.1 Características microscópicas del flujo vehicular	18
1.4.2 Características macroscópicas del flujo vehicular	19
1.5 Factores para convertir a vehículo equivalente	22
1.6 Métodos para calcular los factores de equivalencia vehicular	26
1.6.1 Métodos basados en la tasa de flujo y densidad	26
1.6.2 Métodos basados en el intervalo entre vehículos	28
1.6.3 Método basado en la velocidad	29
1.6.4 Método basado en la velocidad y el área proyectada	31
1.6.5 Método basado en las demoras.....	31
1.6.6 Método basado en la impedancia de la tasa de flujo.	33
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA VEHICULAR	35
2.1 Generalidades de la metodología para la determinación de los factores de equivalencia vehicular.....	35
2.2 Clasificación funcional de las vías urbanas.....	35
2.3 Selección de los tramos de vías urbanas a analizar en el estudio.....	38
2.4 Agrupación de los vehículos por categorías.....	38
2.5 Realización del aforo vehicular durante la hora pico.....	38
2.6 Selección del tamaño de la muestra a utilizar en la investigación.....	42
2.7 Trabajos de campo en los sitios seleccionados.....	43
2.7.1 Determinación de la velocidad.....	43

2.7.2	Mediciones de los intervalos.....	45
2.8	Aplicación de los métodos seleccionados para determinar los factores de equivalencia vehicular.....	47
2.9	Análisis de los resultados	49
CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS		51
3.1	Clasificación de las vías urbanas en el territorio	51
3.2	Selección de los tramos de vías urbanas a utilizar en el estudio	52
3.3	Agrupación de los vehículos por categorías.....	52
3.4	Realización del aforo vehicular durante la hora pico	52
3.5	Selección del tamaño de la muestra a utilizar en la investigación.....	53
3.6	Trabajos de campo	54
3.6.1	Determinación de la velocidad.....	54
3.6.2	Determinación de las dimensiones de las diferentes categorías de los vehículos 55	
3.6.3	Mediciones de los intervalos.....	56
3.7	Determinación de los factores de equivalencia vehicular	57
3.8	Análisis de los resultados obtenidos	64
3.8.1	Comparación de los factores de equivalencia vehicular determinados con los contemplados en la NC: 53-118-1984.....	64
3.8.2	Influencia de los factores de equivalencia vehicular determinados en los estudios de ingeniería de tránsito.....	65
3.8.3	Particularidades de los factores de equivalencia vehicular	66
CONCLUSIONES GENERALES		68
RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA.....		70
ANEXOS		73
Anexo I: Aforo vehicular		73
Anexo II: Determinación de la velocidad		75
Anexo III: Estudio de intervalo		77
Anexo IV: Determinación de la muestra		80
Anexo V: Determinación de los factores de equivalencia vehicular		81
Anexo VI: Comprobación de los factores		82

INTRODUCCIÓN

Con el surgimiento del hombre, nace la necesidad de desplazarse de un lugar a otro. Andar era el único medio que el hombre primitivo tenía para trasladarse, pero no es hasta el invento de la rueda que el hombre comienza a desarrollar los medios de transporte. Estos medios de transporte de forma continua evolucionan hasta que en el siglo XIX surge el automóvil fruto de la aplicación de los avances científicos y técnicos.

En esta época el automóvil no es el único vehículo mecánico que surge, ya desde finales del siglo XIX comienzan a transitar las primeras motocicletas, camiones y ómnibus con motores de combustión interna. (Depestre, 2012) plantea que el primer ejemplar de motocicleta construida en serie se remonta a 1894; la realizó la empresa alemana Hildebrand & Wolfmüller, que presentó un modelo de dos ruedas y en 1896, el alemán Gottlieb Daimler construyó lo que se considera como el primer camión de carga en la historia del automóvil, aunque el gran apogeo de estos vehículos se alcanza gracias a que muchas empresas fabricantes de automóviles diversificaron sus productos hacia los ómnibus, tractores y chasis de camiones completos dando lugar al nacimiento de una nueva industria: la industria del carrozado.

En el siglo XX, la producción masiva de automóviles había empezado ya en Francia y Estados Unidos. Las primeras compañías para fabricar automóviles fueron las francesas Panhard et Levassor (1889) y Peugeot (1891). En 1908, Henry Ford comenzó a producir automóviles en una cadena de montaje, sistema totalmente innovador que le permitió alcanzar cifras de fabricación hasta 15 000 000 unidades de su Ford T entre 1908 y 1928 (Rachlis, 1967). Esta época trae consigo un fuerte incremento de la cantidad de automóviles en circulación, así como de su uso para los más variados propósitos, incluyendo los viajes al lugar de trabajo, al de estudio y al transporte de mercancías con lo que se presiona significativamente la red vial (Thomson & Bull, 2001).

El avance alcanzado por la humanidad con el surgimiento del automóvil trajo una serie de consecuencias negativas que se acrecentaron con la rápida expansión del vehículo, dentro de las cuales encontramos la congestión

vehicular, producto a que las calles no estaban bien diseñadas para el tráfico de este tipo de vehículos y a la circulación desordenadas de los autos, otra causa es el incremento considerable de los accidentes del tránsito, causados por la negligencia de los conductores y el descuido de los peatones (Galvez, 2019). Para solucionar estas negligencias algunos científicos realizan una serie de investigaciones, por lo que surge así la Ingeniería de tránsito. Estos estudios demuestran que para solucionar los problemas de congestión se debía realizar una conversión de vehículos mixtos a la unidad de automóvil equivalente. El término "automóvil equivalente" se introduce por primera vez en 1965 en el *Highway Capacity Manual* (HCM), para explicar el efecto de camiones y ómnibus en la corriente del tráfico (Shalini & Kumar, 2014).

Los factores de equivalencia vehicular poseen una significativa importancia en el tema de ingeniería del tránsito, ya que estos factores son utilizados en muchos métodos de análisis como los estudios de capacidad, la determinación de tasa de flujo y los modelos de flujo de tráfico, los cuales son desarrollados teniendo en cuenta la homogeneidad en las condiciones del tráfico (Al-Kaisy & Jung, 2004). Es preciso destacar que el tipo de vía, ya sea rural o urbana, influye en la determinación de los factores de equivalencia vehicular, dadas sus diferencias en las características geométricas y en los volúmenes de tránsito que son capaces de almacenar (Yarce, 2015).

Varias metodologías han sido utilizadas para determinar los factores de equivalencia vehicular para vehículos pesados, entre las que se incluyen los métodos basados en la densidad y la de tasa de flujo, en los intervalos, en la relación entre velocidad y área proyectada, formación de cola y tiempo de viaje. Es importante destacar que estos métodos fueron desarrollados principalmente por investigadores norteamericanos y europeos, los cuales analizaron la situación existente en sus países donde vehículos como los ciclos, triciclos, motonetas y vehículos de tracción animal no circulan por sus calles provocando una no existencia de un factor de equivalencia vehicular para estos medios de transporte tan utilizados en países en calles de desarrollo (Galvez, 2019).

El tráfico de Cuba en las calles es de naturaleza heterogénea con una amplia variación en las características dinámicas, esto se debe a que los vehículos

poseen diferentes tamaños, formas, años de explotación, velocidades, tasas de aceleración y desaceleración. La elevada diversidad del parque vehicular provoca un aumento de la congestión, que afecta la capacidad y el nivel de servicio de las vías. Los vehículos según la Ley 109 Código de Seguridad Vial están divididos por su clasificación en ligeros (autos, microbús, jeeps, paneles y camionetas), vehículos pesados (camiones, remolque, semirremolque, arrastre y cuña de tracción), ómnibus, motos, ciclos, equipos especializados (tractores y vehículos de construcción) y vehículos de tracción animal. Según el Centro Provincial de Registro de Vehículos perteneciente al Ministerio del Interior (MININT) en Villa Clara, el país cuenta con un total de 634 685 vehículos, de estos 350 860 pertenecen al sector particular y 283 825 pertenecen al sector estatal (Borges, 2017).

Los factores de equivalencia vehicular empleados en Cuba son los que recomienda la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba). El valor del factor equivalente para un vehículo no es constante, varía en función del tráfico y las condiciones de la vía, los valores de esta norma fueron determinados para las condiciones del tránsito de los Estados Unidos, las que difieren de las condiciones cubanas. Esta norma posee más de treinta años de confeccionada y solo tiene en cuenta los factores de equivalencia vehicular para autos, ómnibus y camiones; lo que no coincide con la variedad de vehículos que circulan actualmente por las calles de Cuba.

A partir de esta problemática surge la necesidad de la presente investigación para los estudios de ingeniería de tránsito en Cuba, dado que la NC: 53-118-1984 posee más de treinta años de realizada y no incluye a todos los vehículos que transitan por las calles, se plantea el siguiente como **problema científico** de este trabajo: ¿cómo determinar los factores de equivalencia vehicular para realizar los estudios de ingeniería de tránsito en las vías urbanas fundamentales de la ciudad de Santa Clara?

La respuesta a esta interrogante se refleja en el siguiente **objeto de estudio**: la Ingeniería del tránsito, lo que propicia adentrarse en un **campo de acción** ajustado en: los factores de equivalencia vehicular.

Para dar solución al problema científico, este trabajo se propone el siguiente **objetivo general**: determinar los factores de equivalencia vehicular en las principales vías urbanas de Santa Clara, aplicando varias metodologías de cálculo.

Y los siguientes **objetivos específicos**:

- Elaborar el marco teórico conceptual de la investigación a partir de la revisión bibliográfica, relacionada con los factores de equivalencia vehicular en el tránsito, tanto en el ámbito nacional como internacional.
- Proponer una metodología para la determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales vías urbanas de Santa Clara.
- Aplicar la metodología propuesta en vías urbanas de Santa Clara.
- Analizar los resultados obtenidos, mediante la comparación de los nuevos factores de equivalencia vehicular con los existentes en la NC: 53-118-1984 y su incidencia en los estudios de ingeniería de tránsito.

El cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, se ejecutan atendiendo a las siguientes **tareas científicas**:

- Búsqueda, revisión y análisis de la bibliografía y planteamiento del problema científico de la investigación.
- Selección de los tramos objeto de estudios de acuerdo a la clasificación de las vías urbanas en la ciudad de Santa Clara.
- Realización de aforos vehiculares en los horarios de máxima demanda en las vías seleccionadas.
- Ejecución de los estudios de velocidad e intervalos entre vehículos en las calles seleccionadas.
- Cálculo de los factores de equivalencia vehicular por los métodos seleccionados.
- Análisis de los resultados, a través de la comparación de los factores de equivalencia vehicular calculados con los existentes en la NC: 53-118-1984 y su incidencia en los estudios de ingeniería de tránsito.

La **novedad científica** del presente estudio está en la determinación de los factores de equivalencia vehicular en vías urbanas de la ciudad de Santa Clara y obtener los valores de los factores de equivalencia vehicular para vehículos que no se incluyen en la NC: 53-118-1984, tales como ciclos, motores de dos y tres ruedas y vehículos de tracción animal. Los factores de equivalencia vehicular se utilizan en los trabajos de ingeniería de tránsito para lograr la homogeneidad del tráfico, lo que permite realizar estudios y análisis del tránsito más cercanos a la realidad.

El **aporte práctico** radica en la aplicación de los métodos para la determinación de los factores de equivalencia vehicular en vías urbanas de Santa Clara, estudio de especial interés para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, para aplicarlo en los estudios relacionados con la circulación vehicular en la ciudad. Contribuye al conocimiento de futuras investigaciones en trabajos que involucren volúmenes de tránsito.

En el desarrollo de la investigación se manejan diferentes **métodos** seleccionados, elaborados y aplicados sobre la base del método materialista dialéctico como, por ejemplo:

Métodos teóricos:

- Inductivo - deductivo, se irá de lo universal, en la determinación de factores de equivalencia vehicular, a lo particular en su aplicación en las vías urbanas de la ciudad de Santa Clara y se pasará nuevamente a lo universal para arribar a conclusiones.
- Histórico - lógico, para apreciar los avances en los estudios sobre factores de equivalencia vehicular en vías urbanas y su aplicación en la provincia de Villa Clara.
- Analítico - sintético, para determinar aspectos comunes y distintivos en los enfoques metodológicos estudiados sobre los factores de equivalencia vehicular para los diferentes vehículos en el tránsito.
- Sistémico - estructural, para analizar la investigación como parte de un sistema que interactúa directamente con el análisis del tránsito en las vías urbanas de la Santa Clara.

Métodos empíricos:

- Análisis de documentos, que permiten examinar y tomar como teoría los conocimientos existentes sobre los factores de equivalencia vehicular en estudios de tránsito.

Métodos matemáticos y estadísticos:

- Determinación de los factores de equivalencia vehicular mediante aforos vehiculares y estudios de velocidad y posteriormente comparar los resultados obtenidos con los factores contemplados en la NC: 53-118-1984, mediante el uso del *Microsoft Office Excel* y de métodos estadísticos (la media aritmética, la mediana y la moda).

Estructura de la investigación:

La estructura está confeccionada en función de la metodología de la presente investigación y se desglosa de la siguiente forma:

- Resumen
- Introducción
- Desarrollo

Capítulo I: Estado del conocimiento sobre los factores de equivalencia vehicular en ingeniería de tránsito

Se realiza una extensa búsqueda bibliográfica relacionada con el tema de esta investigación para conocer los antecedentes y el estado actual del conocimiento sobre los diferentes tipos de vehículos que existen en el mundo y en Cuba. Aborda metodologías existentes en el mundo para la determinación de factores de equivalencias y demostrar porqué es necesaria su utilización.

Capítulo II: Metodología para la determinación de los factores equivalentes

Este capítulo establece de forma detallada una metodología, la cual permite determinar los factores de equivalencia vehicular según los métodos seleccionados en las principales vías urbanas de Santa Clara a partir de la clasificación vehicular propuesta por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara.

Capítulo III: Análisis de los resultados obtenidos.

Se desarrollan cada uno de los puntos establecidos por la metodología descrita en el capítulo II. Además, se analizan los valores de los factores de equivalencia vehicular obtenidos, se comparan con los establecidos en la NC: 53-118-1984 y se analiza su influencia de los nuevos factores de equivalencia vehicular en estudios de ingeniería de tránsito y en otros estudios que requieran volumen de vehículos y se arriba a conclusiones.

- Conclusiones.
- Recomendaciones.
- Referencias bibliográficas.
- Anexo

CAPÍTULO I. ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA VEHICULAR EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO

En este capítulo se realiza una fundamentación teórica conceptual de la investigación a partir de la revisión bibliográfica a nivel internacional y nacional en busca de los antecedentes y el estado actual del conocimiento sobre los factores de equivalencia vehicular usados en ingeniería de tránsito. Además, se presentan para el mundo y para Cuba, la clasificación de las vías urbanas, los diferentes tipos de vehículos, los factores de equivalencia vehicular utilizados en estudios de tránsito y los métodos que se aplican para la determinación de los factores de equivalencia vehicular.

1.1 Ingeniería de tránsito

La ingeniería de tránsito es aquella fase de la ingeniería del transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte (Spíndola & Grisales, 1994).

Dentro de los objetos de estudio de la ingeniería de tránsito se encuentran: los accidentes de tránsito, estacionamiento, cargas, diseño de instalaciones, señales de tránsito, marcas, límites de velocidad y la iluminación de la calle. También se encarga del dimensionamiento y diseño de la infraestructura para lograr un flujo de tráfico eficiente y de la evaluación de los sistemas de tráfico para optimizar el uso de esa infraestructura vial. Dentro de los elementos del control de tráfico están las señales y semáforos con el fin de lograr una operación segura y eficiente. El ingeniero de tránsito es aquel encargado del diseño de las intersecciones viales, planes semafóricos, demarcación de las vías, señalizaciones verticales (Méndez, 2009).

Es indispensable, en la Ingeniería de tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos para planificar la vialidad en un país, en un municipio o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito. Además, se analizan diversos factores de los vehículos y usuarios como elemento de la corriente de tránsito, se investiga la velocidad, el volumen y la densidad, el origen y el destino del

movimiento, la capacidad de las calles y carreteras. Se utilizan diversas magnitudes que reúnen las características de los vehículos y usuarios, entre ellas está la separación entre vehículos sucesivos, intervalos entre vehículos y tiempos de recorrido y demoras (Peña, 2016).

El tráfico en las calles de Cuba es heterogéneo debido a la elevada diversidad del parque vehicular, esto trae consigo consecuencias negativas, dentro de ellas está la congestión vehicular y el aumento de los accidentes, que afecta la capacidad y el nivel de servicio de las vías. Para realizar estudios que conlleven a soluciones, la ingeniería de tránsito define el automóvil equivalente como factor imprescindible, el cual es utilizado para transformar volúmenes de tráfico que contienen vehículos pesados en un valor unificado que posee unidades de automóviles. Los factores de equivalencia vehicular poseen una significativa importancia en el tema de ingeniería de tránsito, ya que estos factores son utilizados en muchos métodos de análisis como los estudios de capacidad, la determinación de tasa de flujo y los modelos de flujo de tráfico, los cuales son desarrollados teniendo en cuenta la homogeneidad en las condiciones del tráfico.

1.2 Clasificación de las vías urbanas

Los criterios que se utilizan para la clasificación de las vías urbanas son los siguientes: la funcionalidad, la técnica, las características de la geometría y la circulación, la transitabilidad, los aspectos administrativos y de acuerdo a la superficie de rodamiento. Estos criterios se realizan de manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes vías y calles, para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades (Alvarez, 2008).

La clasificación funcional agrupa a las calles de acuerdo al carácter del servicio que deben proveer. La mayoría de los viajes incluyen movimientos a través de redes viales y las vialidades utilizadas por estos movimientos pueden ser clasificadas de acuerdo a la red vial que conforman de una manera lógica. Por lo tanto, la clasificación funcional de las redes viales es consistente con la categorización de los viajes.

Según la Norma de Ingeniería de Tránsito de México la distribución de los sistemas urbanos se realiza de la siguiente manera, las arterias principales y las arterias menores (vialidad primaria), los colectores (vialidad secundaria) y las calles locales. La clasificación por su transitabilidad se divide en terracerías, revestidas y pavimentadas. En cuanto a aspectos administrativos se clasifican en federales, estatales, rurales y de cuota.

En Perú según la Ingeniería de Tránsito tiene cuatro sistemas funcionales de vialidades para áreas urbanas, entre los cuales están, las arterias principales, las arterias menores (vialidad primaria), los colectores (vialidad secundaria) y las calles locales (Montoya, 2005).

Según el Ministerio de transporte y obras públicas de Ecuador las vías urbanas se clasifican funcionalmente en autopistas, arterias, avenidas principales, avenidas secundarias y calles. De acuerdo a la superficie de rodamiento se clasifican en pavimentos rígidos y flexibles, afirmados y de superficie natural.

Según el Ministerio de obras públicas y transporte, la red urbana de España se clasifica, atendiendo a la categoría del tráfico que circula por ella y a las funciones de acceso a las áreas colindantes, en los siguientes grupos: vías primarias, vías colectoras y vías locales. Según sus características geométricas y de circulación, se clasifican en dos grupos: vías no convencionales (autopistas urbanas, autovías urbanas y vías rápidas urbanas) y convencionales (vía arterial).

En Cuba la clasificación de las vías urbanas se realiza según la NC 53-80-1987, "Clasificación funcional de las vías urbanas y el anteproyecto de NC – Diseño Geométrico de vías urbanas que se clasifica técnicamente. Se tiene en cuenta la función que realiza y se aplica en trabajos de planeamiento, inversiones, codificación, estudios y proyectos viales. Esta clasificación funcional es similar a las consultadas a nivel internacional.

Según la NC 53-80-1987 la clasificación de las vías se partirá siempre del sistema superior (expresos, arterias principales), luego se procede con el sistema inmediato inferior (arterias menores, colectoras, locales).

Según la NC – Diseño Geométrico de vías urbanas las vías urbanas se clasifican de la siguiente manera:

- Calles locales: Las calles locales tendrán como mínimo dos sendas para la circulación de los vehículos.
- Calle comercial. La velocidad de diseño para estas vías son 40; 50 y 60 Km/h estas calles tendrán dos carriles si son de un solo sentido de circulación y cuatro carriles si son de doble sentido de circulación (dos sendas por cada uno); pudiendo presentar tres carriles por cada sentido de circulación si los volúmenes de tránsito son altos.
- Avenidas. La velocidad de diseño para las arterias principales o avenidas son 50; 60 y 70 Km/h; si la vía en el futuro pasará a ser vía expresa la velocidad de diseño será igual a 80 Km/h. Las arterias principales o avenidas siempre tendrán doble sentido de circulación todos los accesos son a nivel.
- Vías expresas: La velocidad de diseño para las vías expresas son 80 y 100 Km/h; estas vías poseerán dos sentidos de circulación y calles de servicio (las que pueden estar o no al mismo nivel que la vía). Las vías expresas tendrán accesos controlados parciales o totalmente, cuando presenta éste último acceso se denominan autopistas urbanas.
- Calles cerradas con retorno: Las calles locales con acceso por un solo extremo tendrán un diseño especial para permitir el retorno de los vehículos. Las calles cerradas con retornos se conciben en vías de distribución interna para dar servicio exclusivo a núcleos de viviendas, zonas comerciales, industriales o de cualquier otro tipo que requieran transporte.

1.3 Características y tipos de vehículos

Cada país cuenta con un Reglamento Nacional de Vehículos, cuyo objetivo es establecer requisitos y características que debe cumplir cada vehículo que ingrese, se registre, transite, opere y se retiene del Sistema Nacional de Transporte Terrestre. Estos requisitos están orientados a la protección y seguridad de las personas, los usuarios del transporte y del tránsito terrestre, así como a la protección del medio ambiente y el resguardo de la infraestructura vial (Montoya, 2005).

Todo vehículo que transita por el Sistema Nacional de Transporte Terrestre debe ser identificado de acuerdo al diseño, uso y aplicación. A continuación, en las tablas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 se presentan clasificaciones de vehículos como la de MERCOSUR, Ecuador, Bolivia y España.

Tabla 1.1. Clasificación vehicular según MERCOSUR

Categoría	Descripción
Categoría L	Vehículo automotor con menos de cuatro ruedas.
Categoría M	Vehículo automotor que tiene por lo menos cuatro ruedas o que tiene tres ruedas cuando el peso máximo excede 1 tonelada métrica y es utilizado para el transporte de pasajeros.
Categoría N	Vehículo automotor que tenga por lo menos cuatro ruedas o que tenga tres ruedas cuando el peso máximo excede 1 tonelada métrica, y que se utilice para transporte de carga.
Categoría O	Acoplados (incluyendo los semi-acoplados).
Para propósitos específicos	Grúas, vehículos para industrias, vehículos para publicidad, etc.

Fuente: ("MERCOSUR/GMC/RES N° 35/94 - ANEXO: Reglamento Armonizado. Clasificación de Vehículos," 2016)

En la clasificación dada por MERCOSUR en la tabla 1.1 incluye a los países de Ecuador y Bolivia, aunque se muestran diferencias en la clasificación vehicular que se verán a continuación:

- La categoría M, en Ecuador incluye solo los vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros, mientras que la clasificación según MERCOSUR destaca que el vehículo tiene que tener por lo menos cuatro ruedas o tres ruedas y el peso máximo exceda 1 tonelada métrica.
- En Bolivia, el Servicio Nacional de Caminos (S.N.C.), no agrupa los vehículos de la misma forma que la clasificación adoptada por MERCOSUR, sino que se agrupan en cuatro grandes grupos: vehículos livianos, vehículos comerciales, automóviles de mayores dimensiones y camiones de mayores dimensiones y vehículos comerciales articulados.

Tabla 1.2. Clasificación vehicular en Ecuador

Categoría	Descripción
Categoría L	Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas.
Categoría M	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros.
Categoría N	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías.
Categoría O	Remolques (incluidos semirremolques).
Combinaciones especiales	Realizan una función específica, para la cual requieren carrocerías y/o equipos especiales.

Fuente: ("Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012," 2012).

Tabla 1.3. Clasificación vehicular en Bolivia

Categoría	Descripción
VP	Vehículos livianos como automóviles, camionetas, vagonetas, minibuses, etc.
CO	Vehículos comerciales de dos ejes, comprenden a camiones y autobuses comerciales, normalmente de dos ejes y seis ruedas.
O	Automóviles de mayores dimensiones, y camiones de mayores dimensiones. Los autobuses empleados generalmente para viajes de largas distancias y turismo. Estos vehículos son de mayor longitud que los CO y pueden contar con tres ejes.
SR	Vehículo comercial articulado, compuesto normalmente de una unidad tractora y un semirremolque o remolque de dos ejes o más.

Fuente: (Johnson, 2004)

En la tabla 1.4 se muestra la clasificación en España, en la cual se utilizan dos categorías L, que incluyen los vehículos de motor de menos de cuatro ruedas y los cuadríciclos. En la clasificación se observa la presencia de vehículos asimilables a otras categorías como el caso de los vehículos de turismo y se especifican los tipos de vehículos para labores agrícolas y para labores constructivas y de servicio.

Tabla 1.4. Clasificación vehicular en España

Categoría	Descripción
Categoría M	Vehículos de motor destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.
Categoría N	Vehículos de motor destinados al transporte de mercancías que tengan por lo menos cuatro ruedas.
Categoría O	Remolques (incluidos los semirremolques).
Categoría L	Vehículos de motor con menos de cuatro ruedas.
Categoría L	Vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, y cuadriciclos, destinados a circular por carretera, así como sus componentes o unidades técnicas.
Categoría T	Tractores agrícolas: Vehículos especiales de dos o más ejes concebidos y contruidos para arrastrar, empujar, llevar o accionar, maquinaria o remolques agrícolas.
Otros vehículos asimilables a los M1	Derivado de turismo, vehículo mixto adaptable, auto-caravana.
Otros vehículos asimilables a los de dos o tres ruedas y cuadriciclos	Quads o ATV: Vehículo especial de cuatro o más ruedas fabricado para usos específicos muy concretos, con utilización fundamentalmente fuera de carretera.
Vehículos agrícolas (excepto tractores)	Motocultor, portador, tractocarro, remolque agrícola, máquina agrícola automotriz, máquina agrícola remolcada.
Vehículos de obras y servicios	Tractor de obras, máquina de obras automotriz, máquina de obras remolcada, tractor de servicios, máquina de servicios automotriz, máquina de servicios remolcada.

Fuente: ("Directiva 70/156/CEE y 92/61/CEE o el Real Decreto 2140/85," 1985).

En Cuba los vehículos se agrupan por tipos, debido a la influencia particular de cada uno en las corrientes vehiculares y en las características geométricas del trazado de las vías. Para la correcta utilización del vehículo se debe tener en cuenta su estado técnico, el propósito para el cual será utilizado, además realizar un mantenimiento apropiado (Castañeda, 2016).

En el año 2010 se implementó en Cuba la Ley 109 Código de Seguridad Vial, la clasificación vehicular según esta ley se muestra en la siguiente tabla (1.5):

Tabla 1.5. Clasificación vehicular en Cuba

Categoría	Descripción
Automóvil ligero	Vehículo de motor cuyo peso neto no exceda los 3 500 kilogramos.
Automóvil pesado	Vehículo de motor cuyo peso neto exceda de 3 500 kilogramos.
Camión	Vehículo de motor destinado al transporte de carga, cuyo peso máximo autorizado excede las 3,5 toneladas o 3 500 kilogramos.
Ciclos	Vehículo de por lo menos dos ruedas, movido por el esfuerzo muscular de las personas que lo conducen mediante pedales o manivelas.
Ciclomotor	Vehículo de por lo menos dos ruedas con motor térmico de cilindrada inferior a 50 centímetros cúbicos o con motor eléctrico de potencia no superior a 1 000 watt y una velocidad máxima por construcción hasta 50 kilómetros por hora.
Cuña de tracción	Vehículo de motor destinado al arrastre de un semirremolque, no preparado para llevar carga por sí mismo.
Microbús	Automóvil destinado al transporte de personas, cuyo número de asientos es mayor que ocho y no excede de dieciséis, sin contar el del conductor.
Motocicleta	Vehículo de dos o tres ruedas, provisto de motor de propulsión con una cilindrada superior a 50 centímetros cúbicos o pueda desarrollar una velocidad superior a los 50 kilómetros por hora por construcción.
Ómnibus	Vehículo destinado a transportar pasajeros, cuyo número de asientos exceda de dieciséis sin contar el del conductor.
Remolque	Vehículo sin motor arrastrado por un vehículo de motor.
Remolque ligero	Remolque cuyo peso máximo autorizado no exceda de 750 kilogramos.
Semirremolque	Vehículo construido para ser acoplado a otro vehículo tractor o cuña, de tal manera que una parte sustancial de su peso y carga queden soportados por este último.
Sidecar	Aditamento de una sola rueda acoplado a una motocicleta.
Tractor	Vehículo especial de motor, con dos o más ejes, que arrastra o empuja máquinas, aperos, remolques u otros vehículos.
Vehículo de tracción animal	Vehículo arrastrado o tirado por animales.
Vehículo todo terreno	Automóvil particularmente diseñado para transitar por todo tipo de terreno, el cual puede tener tracción en dos o más ruedas.

Fuente: ("Ley No 109 Código de Seguridad Vial en Cuba," 2010).

La clasificación cubana según la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, se distingue de las analizadas por no agrupar los tipos de vehículos, sino que muestra cada uno con sus características fundamentales. Además, se destacan los vehículos de tracción animal a diferencia de los países analizados anteriormente.

El Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito de Villa Clara agrupa estos vehículos en función del peso y la geometría de la forma siguiente:

- Ligeros: autos, microbús, jeeps, paneles y camionetas
- Pesados: camiones, remolque, semirremolque, arrastre y cuña de tracción
- Ómnibus: más de 16 asientos
- Motos: ciclomotor, motorinas
- Ciclos: bicicletas, triciclos
- Equipos especializados (tractores y vehículos de construcción)
- Vehículos de tracción animal

Según el Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara, el país cuenta con un total de 634 685 vehículos. En la figura 1.1 se puede apreciar que la provincia con mayor cantidad de vehículos es La Habana con 203 353 vehículos que representa un 32% de Cuba, Matanzas con 54 752 vehículos un 8,6% y Villa Clara con 41 306 vehículos es la tercera provincia de mayor cantidad del país con 6,5% del total general.

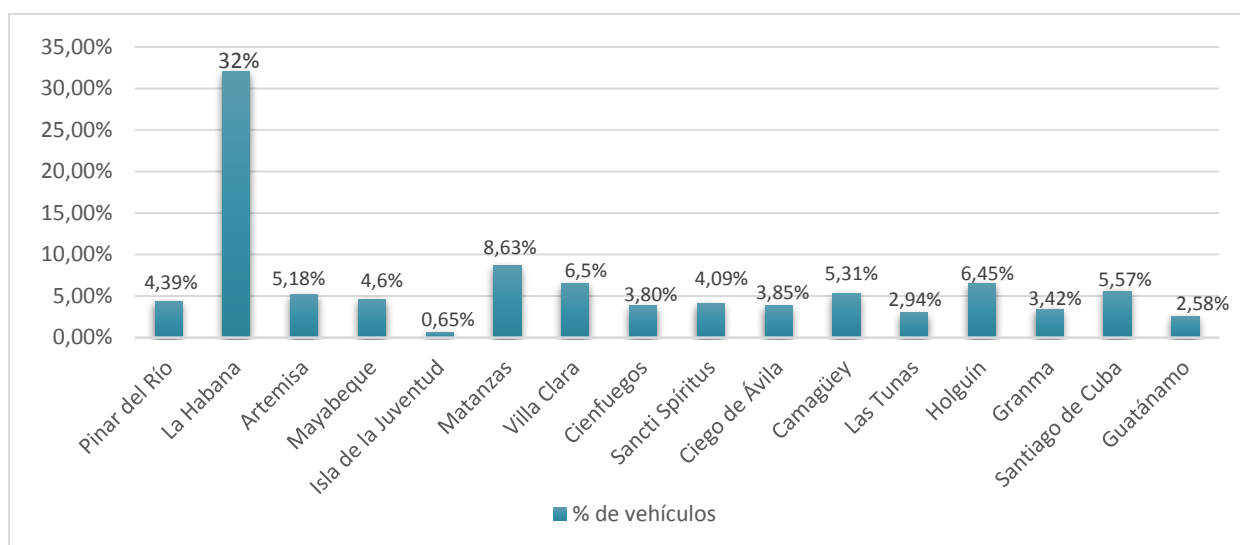


Figura 1.1 Distribución de la cantidad de vehículos por provincias
Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

En la figura 1.2 aparecen las categorías y el porcentaje de vehículos en Villa Clara. Se destaca que la provincia presenta un 43% de motos en su composición vehicular, esta condición hace que este vehículo sea de gran importancia en la organización de los flujos vehiculares en espacios urbanos. La circulación, el uso y el crecimiento de motos son las variables a analizar y

en esta medida, es de gran importancia para la toma de decisiones, el definir la equivalencia de una motocicleta con un automóvil.

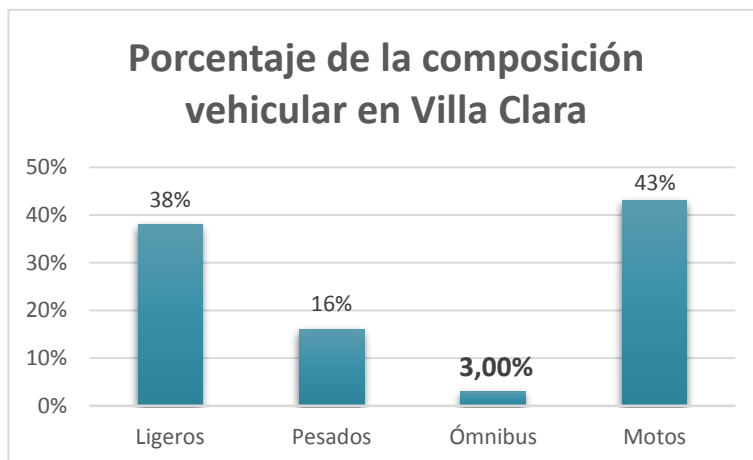


Figura 1.2 Porcentaje de la composición vehicular en Villa Clara
Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

En la tabla 1.6 se observa el aumento de la cantidad de vehículos en Cuba, fenómeno que ha crecido con el transcurso de los años. En los años de 1980 a 1989 hubo un incremento en la cantidad de vehículos con un total de 18 307 de los cuales un 56,7% pertenece a las motos.

Tabla 1.6 Cantidad de vehículos por años en Villa Clara

Clase de Vehículos	Antes 1959	1959-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	Posterior 2009
Ligeros	3 760	472	1 329	4 770	1 819	2 145	1 305
Pesados	372	414	1 605	2 724	758	600	526
Ómnibus	10	9	173	442	97	335	240
Motos	499	1 703	2 477	10 371	1 069	867	415
Total	4 641	2 598	5 584	18 307	3 743	3 947	2 486

Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

Los datos relacionados con el parque vehicular existente en Cuba y en la provincia de Villa Clara, no comprende la cantidad de ciclos y de vehículos de tracción animal que circulan tanto en el país como en la provincia que se menciona. Esto produce un aumento de la cantidad de vehículos que transitan por las calles cubanas, producto a que estos dos tipos de vehículos forman parte de la corriente vehicular.

1.4 Flujo vehicular

El estudio y modelado del tránsito vehicular tienen sus orígenes en los años 30 cuando el investigador norteamericano Bruce Douglas Greenshield's aplicó por

primera vez métodos fotográficos y matemáticos para la medición de diferentes variables relacionadas con el flujo de tránsito vehicular y la descripción de su comportamiento. Fue el mismo Greenshield's quien, posteriormente, postuló la existencia de una relación lineal entre la velocidad y la densidad del tránsito. Años más tardes surgieron los primeros planteamientos en la teoría del flujo de tránsito vehicular (Lighthill y Whitham, 1955), en los cuales se confirmaron las postulaciones de Greenshield's y la existencia de una estrecha relación entre las variables fundamentales del flujo de tránsito vehicular: la velocidad, la densidad y el flujo (Vasquéz & Laguardia, 2018).

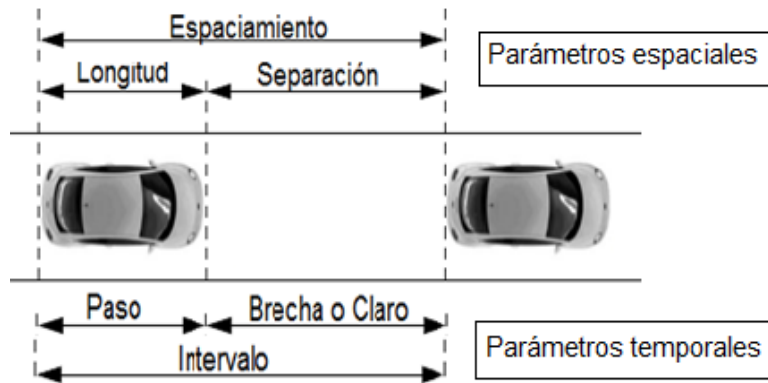
Mediante el análisis de los elementos de flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planeamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte. Con la aplicación de las leyes de la física y las matemáticas, el análisis de flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos de cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de funcionalidad (Spíndola & Grisales, 1994).

El tránsito vehicular tanto en carreteras como en redes urbanas ha representado un problema a resolver desde el segundo cuarto del siglo pasado debido al aumento del número de usuarios. Uno de los resultados más útiles del análisis de flujo vehicular es el desarrollo de los modelos microscópicos y macroscópicos que relacionan sus diferentes variables como el volumen, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento. Estos modelos han sido la base del desarrollo del concepto de capacidad y niveles de servicio aplicados a diferentes tipos de elementos viales (Spíndola & Grisales, 1994).

1.4.1 Características microscópicas del flujo vehicular

En los modelos microscópicos para determinar las variables que intervienen se deben considerar dos vehículos consecutivos que circulan por el mismo carril. En la figura 1.3 se observan los parámetros espaciales que caracterizan los modelos microscópicos, donde se puede definir a la separación como la distancia, expresada en metros, que existe entre el vehículo líder y el vehículo que lo sigue; mientras que el espaciamiento es la distancia existente entre la parte trasera del vehículo líder y la defensa trasera del vehículo que lo sigue.

Figura 1.3 Parámetros espaciales que caracterizan a los modelos microscópicos



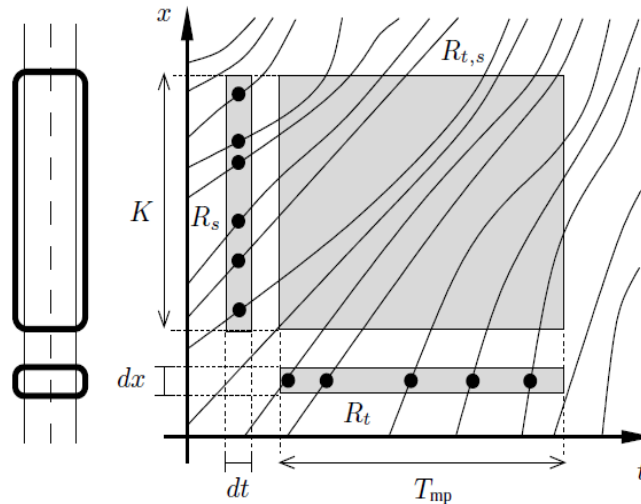
Fuente: (Galvez, 2019)

Los parámetros temporales que caracterizan el flujo vehicular son el paso, la brecha o claro y el intervalo. (Jiang, 2017) plantea que el paso es el tiempo, expresado en segundos, necesario para que el vehículo recorra su propia longitud, la brecha es el intervalo de tiempo libre disponible entre los dos vehículos, mientras que el intervalo es el tiempo existente entre la defensa trasera del primer y segundo vehículo.

1.4.2 Características macroscópicas del flujo vehicular

Los modelos macroscópicos analizan el comportamiento espacial y temporal del flujo vehicular en su conjunto (S. P. Hoogendoorn & Bovy, 2001). Para analizar las características macroscópicas del flujo vehicular (Maerivoet & De Moor, 2005) realizan un diagrama espacio-tiempo que provee una imagen general de las operaciones del tráfico que tienen lugar en un determinado tramo de una vía como se muestra en la figura 1.4 y definen tres regiones de análisis: R_t , R_s y R_{ts} . La primera de estas tres regiones corresponde a las mediciones realizadas en una ubicación establecida en el espacio durante un intervalo de tiempo, R_s se relaciona con las mediciones ejecutadas en un instante de tiempo sobre una determinada sección de la vía de longitud k ; mientras que R_{st} analiza el flujo vehicular en el tiempo y en el espacio.

Figura 1.4 Diagrama espacio-tiempo



Fuente: (Maerivoet & De Moor, 2005)

(S. Hoogendoorn & Knoop, 2013) Identifican a la tasa de flujo (q) y a la densidad (k) como las variables macroscópicas más importantes. Estas variables se encuentran relacionadas a través de la velocidad media espacial mediante la ecuación fundamental del tránsito que relaciona los parámetros temporales y espaciales de la corriente vehicular y se conoce como la ecuación fundamental del flujo vehicular que en su forma general se expresa en la ecuación (1.1):

$$q = \bar{v}_e * k \quad (1.1)$$

Donde:

q = flujo vehicular

$\bar{v}_e$ = velocidad media espacial (km/h)

k = densidad (veh/km/carril)

1.4.2.1 Modelo lineal

B. D. Greenshield's llevó a cabo una de las primeras investigaciones sobre el comportamiento del flujo vehicular, en la cual estudió la relación existente entre la velocidad y la densidad. Utilizó un conjunto de datos de velocidades y densidades para diferentes condiciones del tránsito y propuso una relación lineal entre las dos variables, que mediante el ajuste por el método de mínimos cuadrados, llega al modelo lineal que se muestra en la siguiente ecuación (1.2):

$$\bar{v}_e = V_l - \left(\frac{V_l}{k_c} \right) k \quad (1.2)$$

Donde

v_e = velocidad media espacial (km/h)

k =densidad (veh/km/carril)

V_l = velocidad media espacial a flujo libre (km/h)

k_c =densidad de congestionamiento (veh/km/carril)

1.4.2.2 Modelo no lineal

Varias investigaciones relacionadas con el flujo vehicular han revelado que no siempre existe una correlación lineal entre la velocidad y la densidad. En casos de este tipo es necesario realizar ajustes con otros modelos que tomen en cuenta la línea de tendencia de los datos. A continuación, se mencionan los modelos macroscópicos más clásicos con sus respectivas ecuaciones que relacionan el flujo, la velocidad y la densidad.

Modelo logarítmico

Apoyado en la analogía hidrodinámica, H. Greenberg's combina las ecuaciones de movimiento y continuidad de los fluidos compresibles y, al aplicarla al flujo vehicular, se obtiene las siguientes ecuaciones (1.3) y (1.4):

$$\bar{v}_e = v_m \ln\left(\frac{k_c}{k}\right) \quad (1.3)$$

Donde:

v_m = velocidad de marcha

k_c = densidad de automóviles.

$$q = v_m k \ln\left(\frac{k_c}{k}\right) \quad (1.4)$$

Donde:

q = flujo vehicular

v_m = velocidad de marcha

k_c = densidad de automóviles.

q = tasa de flujo

k = densidad (veh/km/carril)

Modelo exponencial de Underwood

Al contrario que Greenberg's, Underwood se interesó en desarrollar un modelo para flujos no congestionados, que sea usado para autopistas, avenidas o calles urbanas. En este modelo no se presenta la condición de congestionamiento, la velocidad no es igual a cero para altas densidades del flujo. Underwood formula las siguientes ecuaciones (1.5) y (1.6) (Campoverde, 2017):

$$V = V_f e^{\frac{-k}{k_{max}}} \quad (1.5)$$

$$q = V_f k e^{\frac{-k}{k_{max}}} \quad (1.6)$$

Por lo tanto, la ecuación (1.7) representa el flujo máximo:

$$q_{max} = V_{max}k_{max} = \frac{Vf K_{max}}{e} \quad (1.7)$$

Aplicaciones del flujo vehicular

Actualmente el flujo vehicular se incrementa en varias ciudades del mundo, este fenómeno causa problemas de congestión vehicular. Para resolver este inconveniente se intenta impulsar el uso de varios medios de transporte: buses, trenes, bicicletas; también se construyen pasos a nivel, puentes, vías alternas. Sin embargo, no es suficiente para controlar el alto nivel de flujo vehicular, para esto se crean varios métodos que involucran la medición del flujo vehicular y su control. La aplicación fundamental de este estudio es la determinación de los factores de flujo vehicular, generalmente para el control del flujo vehicular también se pueden utilizar el control por tiempos fijos y control sensible al tráfico. El control por tiempos fijos se realiza mediante registros de flujo y densidad vehicular, para esto es necesario ajustar a valores constantes, los parámetros que intervienen en el desarrollo del flujo vehicular. Mientras que el control sensible al tráfico se realizan mediciones de flujo vehicular en tiempo real, mediante el uso de sensores, tarjetas de control o cámaras de detección vehicular (Campoverde, 2017).

1.5 Factores para convertir a vehículo equivalente

El término factor de equivalencia vehicular se introdujo por primera vez en el *Highway Capacity Manual* (HCM) de 1965 con el objetivo de explicar el efecto de camiones y autobuses en el flujo de tráfico. Se definió como "el número de vehículos de pasajeros desplazados en el tráfico por un camión o un autobús, con las condiciones prevalecientes de la calzada y del tráfico. Sin embargo, la definición más reciente de vehículo equivalente en el (HCM 2000) es el número de pasajeros que están desplazados por un solo vehículo pesado de un tipo determinado en la calzada, con las condiciones de tráfico y de control que prevalece (Shalini & Kumar, 2014).

En los países en vías de desarrollo los estudios para determinar los factores de equivalencia vehicular son complejos, ya que en estos países el tráfico imperante es extremadamente heterogéneo debido a que por las vías circulan una gran variedad de vehículos de disimiles tamaños y que circulan a velocidades muy desiguales. A nivel internacional se han realizado estudios

que determinan estos factores a partir de las características del tránsito y de la infraestructura vial que presentan estos países. Estos estudios se muestran a continuación:

En Perú, en el año 2005, para demostrar la influencia de los camiones y los autobuses en la capacidad vial se destacan los factores equivalentes en función de los tipos de vehículos. Se utiliza la metodología de AASHO para ejes simples, dobles y la de Treybig y Von Quintus para los ejes triples (Montoya, 2005). Estos valores se mostrarán en la tabla resumen 1.7.

En el 2009 en Hanói, Viet Nam se trabajó la estimación de la capacidad y del factor de equivalencia vehicular a motocicletas en tramos viales urbanos. Para la investigación se aplicó el método de promedios ponderados y el modelo logarítmico de Greenberg's, el cual fue ajustado con regresión lineal, para la estimación de la capacidad, el flujo máximo de vehículos, la velocidad crítica de la corriente media y la densidad crítica. Los resultados indican que la capacidad de las vías urbanas está en función del número y ancho de carriles (Yarce, 2015). Estos valores se mostrarán en la tabla resumen 1.7.

En 2014 se presenta la estimación de los factores de equivalencia vehicular por la mezcla de tráfico y condiciones de flujo que prevalecen en las intersecciones señalizadas dentro de la Metrópoli de Kumasi, Ghana. El procedimiento de cálculo que se utilizó fue el método de los intervalos. Los resultados se muestran en función de la categoría del vehículo y del tipo de intersección y de la presencia o no, de la fricción originada en el camino (Obiri-Yeboah, Tuffour, & Salifu, 2014). Estos valores se mostrarán en la tabla resumen 1.7.

En 2014 se realizó la estimación de los factores equivalencia vehicular, utilizando el tráfico heterogéneo que prevalece en las arterias urbanas de la ciudad de Karachi, Pakistán, mediante tres métodos: el método de los intervalos, el método de la velocidad y el método de análisis de la regresión múltiple. Los factores de equivalencia vehicular para motocicletas y vehículos de tres ruedas en los estudios de otros países son más altos en comparación con los de Karachi (Adnan, 2014). Estos valores se mostrarán en la tabla resumen 1.7.

Según (Yarce, 2015) en una investigación realizada en Colombia para determinar los factores de equivalencia vehicular, se aplicó el método manual-

mecánico, utilizando el software *Kinovea*, que genera automáticamente los espacios efectivos, optimizando el tiempo para crear bases de datos y las fórmulas estadísticas que darán como resultado los factores de conversión. Este método propuesto es aplicable para condiciones de circulación urbana y rural. Estos valores se mostrarán en la tabla resumen 1.7.

En la India según (Srikanth & Mehar, 2017), en una investigación con el fin de determinar los factores de equivalencia vehicular en las vías multicarriles, en donde se utiliza el método de los intervalos. El resultado de esta investigación muestra que los valores los factores de equivalencia vehicular obtenidos por este método son inexactos. Estos valores se mostrarán en la tabla resumen 1.7.

En la tabla 1.7 se muestran los valores de los factores de equivalencia vehicular en diferentes países, los que se determinaron según las características del tránsito que prevalecen en cada país analizado. La determinación de los factores de equivalencia vehicular se realiza para diferentes grupos de vehículos en cada uno de los países analizados, donde la mayoría utilizan como unidad equivalente (el factor igual a uno) para los automóviles por ser el vehículo predominante en la circulación, mientras países como la India, Viet Nam y Colombia usan las motocicletas como la unidad equivalente por la gran cantidad de vehículos de este tipo que circulan en las vías donde se realizaron los trabajos de campo.

Tabla 1.7. Factores equivalentes en el mundo

Categoría	Factores equivalentes					
	Perú (2005)	Viet Nam (2007)	Ghana (2014)	Pakistán (2014)	Colombia (2015)	India (2001)
Ciclos	0,33	1,20	-	-	-	0,80
Motos	0,75	1,00	-	0,25	1,00	1,00
Automóvil	1,00	4,00	1,00	1,00	2,30	2,00
Minibús	-	8,34	1,65	2,00	-	4,40
Ómnibus	3,00	10,48	-	2,50	3,70	8,00
Camión	2,50	-	3,05	3,00	3,20	-

Fuente: Elaboración propia

En Cuba los factores de equivalencia vehicular que se utilizan son los que recomienda la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba). Es preciso destacar que estos

valores fueron determinados para las condiciones de los Estados Unidos. Los factores están en función del nivel de servicio y del tipo de terreno, pero también depende de otros elementos como las características de la vía, ya sea rural o urbana y en función de esto, la velocidad de los vehículos, el flujo vehicular y la capacidad de la vía.

La tabla 1.8 muestra los factores equivalentes para camiones y ómnibus en carreteras de dos carriles. En el caso de los ómnibus, los factores equivalentes deben usarse solo cuando los volúmenes sean $\geq 3\%$.

Tabla 1.8. Vehículos equivalentes promedio de pasajeros para camiones y ómnibus en carreteras de dos carriles

Equivalentes	Nivel de servicio	Factor Equivalente		
		Terreno llano	Terreno ondulado	Terreno montañoso
Para camiones	A	3	4	7
	B y C	2,5	5	10
	D y E	2	5	12
Para ómnibus	Todos los niveles	2	4	6

Fuente: ("NC: 53-118-1984 Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba," 1984).

Los factores de equivalencia vehicular en el mundo y los contemplados en Cuba según la NC: 53-118-1984 arrojan diferencias significativas. Los factores cubanos fueron calculados para camiones y ómnibus en dependencia del tipo de terreno, el nivel de servicio y de la cantidad de carriles que posee la calle, mientras que en los países analizados se toman varias clasificaciones vehiculares para la determinación de los factores de equivalencia vehicular. Los valores de la norma cubana (para terrenos llanos) son similares a los determinados en el año 2014 en Pakistán y en el año 2005 en Perú, para camiones los factores oscilan alrededor de tres unidades y para ómnibus alrededor de dos unidades y en ambos casos el automóvil es el vehículo tomado como unidad de referencia.

Los factores de equivalencia empleados en Villa Clara se muestran en la tabla 1.9, según las Normas de Semáforos pertenecientes a Ingeniería de Tránsito y al MININT.

Tabla 1.9. Factores equivalentes según el Manual de Trabajo de Ingeniería de Tránsito.

Tipos de vehículos	Factor equivalente
Motos	0,5
Autos	1,0
Camiones de hasta 6 toneladas	2,0
Ómnibus pequeños	2,0
Camiones mayores de 6 toneladas	2,5
Ómnibus grandes	2,5
Vehículos articulados	4,0
Vehículos de tracción animal	2,5

Fuente: (Manual de Trabajo. Ingeniería de Tránsito. Ministerio del Interior, 2007)

1.6 Métodos para calcular los factores de equivalencia vehicular

Varios autores realizaron estudios donde compararon métodos para estimar los factores de equivalencia vehicular, utilizando datos de campo recolectados y encontraron una gran variación de valores de equivalencias vehiculares para cada uno de los métodos calculados, indicando que los resultados dependen del método escogido (Chandra & Kumar, 2003). A continuación, se presentan varios métodos que permiten determinar estos factores:

1.6.1 Métodos basados en la tasa de flujo y densidad

En ingeniería de transporte, el término de tasa de flujo se utiliza para indicar la tasa por hora equivalente de los vehículos que pasan un punto por unidad de tiempo, y la densidad es una medida que cuantifica la proximidad de los vehículos entre sí dentro de la corriente del tráfico e indica el grado de maniobrabilidad dentro de esta. Los valores del factor de equivalencia vehicular (FEV) derivados del método de la densidad se basan en conceptos de tráfico homogéneo (St John & Glauz, 1976). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación (1.8):

$$FEV = \frac{q_b - q_m(1 - P_t)}{q_m \times P_t} \quad (1.8)$$

Donde:

FEV= factor de equivalencia vehicular

q_b= tasa de flujo básico en auto / hora

q_m= tasa de flujo mixto en vehículos / hora

P_t= proporción del camión en el flujo de tráfico mixto

(Demarchi & Setti, 2003) Sugieren un modelo para la adaptación de los procedimientos del HCM versión 2000 a Brasil, para eliminar los posibles

errores para vehículos pesados mixtos en la corriente de tráfico debido a que se realizaron estudios previos y encontraron diferencias significativas entre el rendimiento de camiones brasileños y norteamericanos, por la existencia de cuatro tipos de camiones importantes en el flujo del tráfico brasileño. Los autores según la ecuación (1.9) calcularon los valores de los factores de equivalencia vehicular para cada tipo de camión y utilizaron la ecuación del HCM versión 2000 para determinar el factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}):

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_1(E_1 - 1) + P_2(E_2 - 1) + P_3(E_3 - 1) + P_4(E_4 - 1)} \quad (1.9)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

P_i = es el porcentaje de camiones tipo i

E_i = es el valor del factor de equivalencia vehicular para los camiones tipo i

El método para la obtención de los factores de equivalencia vehicular para una clase de vehículo elegido en un flujo que contiene más de un tipo de vehículos pesados es similar al desarrollado por Huber en 1982, excepto por el uso de una tercera función, como se muestra en la figura 1.5.

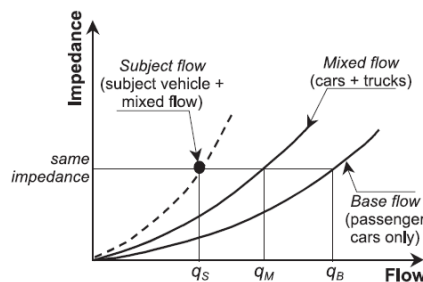


Figura 1.5 Modelo de densidad-flujo propuesto por (Demarchi & Setti, 2003)

Fuente: (Demarchi & Setti, 2003)

El procedimiento desarrollado por Demarchi y Setti para la obtención del factor de equivalencia vehicular consta de cinco pasos:

1. Establecer la relación entre la densidad y la tasa de flujo base (automóviles), como se ilustra en la figura 1.5.
2. Establecer la relación entre la densidad y la tasa de flujo mixto, que contiene automóviles (1 - p) y camiones (p), como se muestra en la figura 1.5.
3. Establecer la relación entre la densidad y la tasa de flujo que contiene más de un tipo de vehículos pesados (Δp), también mostrado en la figura 1.5.

4. Determinar la tasa de flujo base (q_B), la tasa de flujo mixto (q_M) y la tasa de flujo que contiene más de un tipo de vehículos pesados (q_S) que presentan el mismo nivel de densidad, como se observa en la figura 1.5.
5. Calcular el factor de equivalencia vehicular (FEV) para el vehículo pesado seleccionado utilizando las tres tasas de flujo obtenidas en el paso anterior y la ecuación (1.10):

$$FEV = \frac{1}{\Delta p} * \left[\frac{q_B}{q_S} - \frac{q_B}{q_M} \right] + 1 \quad (1.10)$$

1.6.2 Métodos basados en el intervalo entre vehículos

Greenshields en 1947 fue el primero en utilizar el método de los intervalos, el cual logró determinar un factor de equivalencia vehicular para vehículos pesados utilizando la siguiente ecuación (1.11) (Shalini & Kumar, 2014):

$$FEV_i = \frac{H_i}{H_c} \quad (1.11)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular del tipo de vehículo tipo i

H_i = intervalo del vehículo del tipo i

H_c = Intervalo del automóvil

(Werner & Morrall, 1976) Recomendaron determinar el factor de equivalencia vehicular mediante el uso de autopistas cuando la vía está lo suficientemente congestionada en un terreno plano, el cálculo se realizó mediante la ecuación (1.12):

$$FEV = \frac{\frac{H_m}{H_b} - P_c}{P_t} \quad (1.12)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

H_m = promedio de avance para una muestra que incluye todos los tipos de vehículos

H_b = promedio de avance para una muestra de automóviles de pasajeros solamente

P_c = proporción de automóviles

P_t = proporción de camiones

(Krammes & Crowley, 1986) Formulan una ecuación para estimar los factores de equivalencia vehicular para segmentos a nivel de autopistas. La ecuación (1.13) es obtenida realizando adecuaciones en la ecuación propuesta por Huber en 1982:

$$FEV = \frac{[(1 - p) * H_{TP} + p * H_{TT}]}{H_p} \quad (1.13)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

H_{TP}= Intervalo promedio que el conductor de un camión mantiene cuando sigue a un automóvil

H_{TT}= Intervalo promedio que el conductor de un camión mantiene cuando sigue a otro camión

H_P= Intervalo promedio que el conductor de un automóvil mantiene cuando da seguimiento a otro automóvil en una tasa de flujo básica

p= Proporción de camiones

(1-p) = Proporción de automóviles

(Parvathy, Sreelatha, & Reebu, 2013) Realizaron un estudio donde se adapta el método de los intervalos para el cálculo de los factores de equivalencia vehicular, mediante la ecuación (1.14):

$$FEV = \frac{h(x-x)}{h(c-c)} \quad (1.14)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

h (c – c) = intervalo promedio del automóvil seguido de un automóvil

h (x – x) = intervalo promedio de un vehículo tipo x seguido de un vehículo tipo x

1.6.3 Método basado en la velocidad

Este es otro método utilizado para determinar el factor de equivalencia vehicular, así como la velocidad de movimiento de los vehículos en una distancia por unidad de tiempo o velocidad. (Van Aerde & Yagar, 1984) desarrollaron una metodología para estimar el factor de equivalencia vehicular basándose en las tasas de velocidad relativas para cada tipo de vehículo que viaja en la dirección principal y para todos los vehículos combinados que viajan en la dirección opuesta. Encontraron que el factor de equivalencia vehicular disminuye para los percentiles de mayor velocidad. Debido al propósito de la investigación los autores desarrollan un modelo de regresión lineal, el cual se muestra a continuación, mediante la ecuación (1.15)

$$\text{Percentil de velocidad} = \text{Velocidad libre} + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (1.15)$$

Donde:

C₁: Coeficiente de reducción de velocidad de automóviles

C₂: Coeficiente de reducción de velocidad de camiones

C₃: Coeficiente de reducción de velocidad de vehículos recreacionales

C₄: Coeficiente de reducción de velocidad de otros vehículos

C₅: Coeficiente de reducción de velocidad de vehículos opuestos

(Rahman & Nakamura, 2005) Estimaron el factor de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados en la sección a mediación de cuadra a lo largo de la vía urbana, basado en la diferencia de velocidad de flujo mixto y flujo básico de automóviles de pasajeros. El valor de los factores de equivalencia

vehicular para vehículos no motorizados se estimó con la siguiente ecuación (1.16):

$$FEV_{NMV} = 1 + \frac{V_b - V_m}{V_b} \quad (1.16)$$

Donde:

FEV_{NMV} = Factor de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados

V_b = velocidad promedio de automóviles en el flujo básico (km / hr)

V_m = velocidad promedio de automóviles en el flujo mixto (km / hr)

(Srikanth & Mehar, 2017) Utilizaron la velocidad, el área proyectada de los vehículos y el intervalo promedio para determinar los factores de equivalencia vehicular en tres zonas de la carretera nacional de la India; para realizar dicho estudio se apoyaron en las cámaras del tráfico de las zonas seleccionadas. El factor de equivalencia vehicular es determinado mediante la ecuación (1.17):

$$FEV = F_v * F_h * F_a \quad (1.17)$$

Donde:

FEV = Factor de equivalencia vehicular

F_v = Factor velocidad del vehículo tipo i

F_h = Factor intervalo del vehículo tipo i

F_a = Factor área proyectada del vehículo tipo i

Factor velocidad (F_v)

La velocidad es un elemento fundamental a la hora de determinar el factor de equivalencia vehicular, ya que ambos factores son inversamente proporcionales. El factor velocidad se determina mediante la ecuación (1.18):

$$F_v = \frac{V_c}{V_i} \quad (1.18)$$

Donde:

V_c = velocidad media de los automóviles ligeros

V_i = velocidad media de los vehículos tipo i

Factor intervalo (F_h)

Los autores establecen que el valor del intervalo es directamente proporcional al factor de equivalencia vehicular; además plantean que para determinar este factor se rechazaron intervalos entre vehículos mayores a 20 segundos, para el cálculo de este factor se utilizó la siguiente ecuación (1.19):

$$F_h = \frac{h_i}{h_c} \quad (1.19)$$

Donde:

h_i = intervalo promedio de los vehículos ligeros

h_c = intervalo promedio de los vehículos tipo i

Factor área proyectada (F_a)

Este factor representa la relación existente entre el área del vehículo analizado y el vehículo ligero y se determina mediante la ecuación (1.20)

$$F_a = \frac{A_i}{A_c} \quad (1.20)$$

Donde:

A_i = Área del vehículo tipo i.

A_c = Área del vehículo ligero.

1.6.4 Método basado en la velocidad y el área proyectada

(Chandra & Sikdar, 2000) Propusieron una metodología para estimar los factores de equivalencia vehicular para condiciones de tráfico mixtas, este factor es proporcional a la relación de velocidad e inversamente proporcional a la relación de ocupación espacial con respecto al vehículo de diseño estándar. Estos valores fueron estimados en función del área y la velocidad del vehículo, mediante la ecuación (1.21). En este caso la ecuación responde al cálculo de los factores de equivalencia vehicular, respecto al vehículo ligero, el cual se considera como la unidad equivalente.

$$FEV = \frac{V_c/V_i}{A_c/A_i} \quad (1.21)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

V_c y V_i = velocidad media del coche y tipo i vehículo, respectivamente, en el flujo de tráfico

A_c y A_i = sus respectivas áreas rectangulares proyectadas (largo * ancho) en la calle

1.6.5 Método basado en las demoras

Algunos estudios utilizan la demora entre los vehículos para calcular los factores de equivalencia vehicular. (Cunagin & Messer, 1982) Calcularon estos factores a través del análisis de 14 tipos de vehículos en carreteras de dos carriles, además se utiliza la relación de demora experimentada por un automóvil de pasajeros con respecto a otros coches de pasajeros. Este método estima el valor del factor basado en la distribución de la velocidad y los volúmenes de tráfico como se muestra en la ecuación (1.22):

$$FEV = \frac{D_{ij} - D_{base}}{D_{base}} \quad (1.22)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

D_{ij} = Demora del vehículo ligero respecto al tipo de vehículo i, bajo las condiciones j

D_{base} = Demora del vehículo ligero con respecto al vehículo más lento

Este método basado en el efecto de reducción de la capacidad relativa del vehículo pesado está directamente relacionado con la demora adicional causada por dicho vehículo cuando se compara con la caja del vehículo de pasajeros. (Werner & Morrall, 1976) Utilizaron el método de Walker para determinar los factores de equivalencia vehicular mediante la ecuación (1.23). Una suposición básica en el método de Walker es que los vehículos más rápidos no se ven obstaculizados para pasar a medida que superan a los vehículos más lentos, por lo que no se forman colas.

$$FEV = \frac{(OT_i/VOL_i)(1/VP_m) - (1/VP_b)}{(OT_{LPC}/VOL_{LPC})(1/VP_{PC}) - (1/VP_b)} \quad (1.23)$$

Donde:

OT_i = el número de adelantamientos del vehículo tipo i por los automóviles de pasajeros

VOL_i = el volumen del tipo de vehículo i

OT_{LPC} = el número de adelantamientos de automóviles de pasajeros de menor rendimiento por automóviles de pasajeros

VOL_{LPC} = el volumen de automóviles de pasajeros de menor rendimiento

VP_b = la velocidad media del flujo de tráfico base con solo automóviles de pasajeros de alto rendimiento

VP_m = La velocidad media del flujo de tráfico mixto

VP_{PC} = La velocidad media del flujo de tráfico con solo automóviles de pasajeros

(Craus, Polus, & Grinberg, 1980) en su método de demora equivalente consideraron la diferencia entre la demora causada por un vehículo pesado a un automóvil de pasajeros estándar y la demora causado por un automóvil de pasajeros más lento a los automóviles de pasajeros estándar. La siguiente ecuación (1.24) refleja la perturbación y las demoras reales causadas por los camiones al otro tráfico:

$$FEV = \frac{D_{KT}}{D_{KP}} \quad (1.24)$$

Donde:

FEV = Factor de equivalencia vehicular

D_{KT} = tiempo promedio de demora causado por un camión

D_{KP} = tiempo promedio de demora causado por un carro de pasajeros

(Zhao, 1998) Propuso un método para determinar los factores de equivalencia vehicular basado en la demora para vehículos pesados en intersecciones señalizadas. El auto estimó el valor de los factores de equivalencia vehicular siguiendo la ecuación (1.25):

$$D - FEV_i = 1 + \frac{\Delta d_i}{d_0} \quad (1.25)$$

Donde:

$D - FEV_i$ = factores de equivalencia vehicular basado en la demora para el tipo de vehículo i
 Δd_i = demora de los vehículos de pasajeros debido al tipo de vehículo i bajo condiciones j
 d_0 = demora de los vehículos de pasajeros estándar debido a los vehículos de pasajeros más lentos.

1.6.6 Método basado en la impedancia de la tasa de flujo.

(Huber, 1982) Sugiere un modelo para estimar los valores de los factores de equivalencia vehicular para vías de carriles múltiples. Los valores están en función de la relación entre volúmenes de dos corrientes en algún nivel común de impedancia. Los cálculos se desarrollan considerando una corriente de tráfico con autos y camiones (flujo mixto) y otra corriente de tráfico con autos. Los factores se determinan mediante la ecuación (1.26):

$$FEV = \frac{1}{p_t} \left(\frac{q_b}{q_m} - 1 \right) + 1 \quad (1.26)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular de camiones en una corriente de tráfico

q_b = Flujo básico solo con autos

q_m = Flujo mixto compuesto autos y camiones

p_t = Fracción de camiones en la corriente de tráfico

Conclusiones parciales

- En el mundo los vehículos se clasifican por categorías según la función que realizan mientras que en Cuba la Ley 109, no agrupa los vehículos, sino que muestra de forma directa los tipos de vehículos que circulan en el país, también contiene los vehículos de tracción animal, los que no son mencionados en los demás países.
- El flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de funcionalidad. Existen dos modelos que describen los disímiles aspectos de las operaciones del flujo vehicular: el microscópico que analizan el comportamiento espacial y temporal de un conductor bajo la influencia de otros vehículos en su cercanía y el macroscópico que analizan el comportamiento espacial y temporal del flujo vehicular en su conjunto.
- Los factores de equivalencia vehicular de la NC 53-118-1984 (basada en el cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba) no están actualizados, se determinaron solo para camiones y ómnibus, por lo que no coinciden con los vehículos que están circulando actualmente por las calles de Cuba, estos factores son muy similares a los obtenidos en el año 2014 en Pakistán y en el año 2005 en Perú, ya que estos países para lograr la uniformidad del tránsito consideran al automóvil como el vehículo equivalente.
- Existen diferentes métodos para la determinación de los factores de equivalencia vehicular, estos métodos se dividen en varios grupos: basados en las demoras, en el intervalo entre vehículos, en la densidad y la tasa de flujo, el método basado en la impedancia de la tasa de flujo, y el método basado en la velocidad y el área proyectada de los vehículos.

Después de la realización de este capítulo, se demuestra que es posible la determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales vías urbanas de Santa Clara donde el tráfico que predomina es de naturaleza heterogénea.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA VEHICULAR

El capítulo plantea de forma detallada, una metodología que permita determinar los factores de equivalencia vehicular en las principales vías urbanas utilizando los métodos basados en velocidad y el área proyectada; y los métodos de los intervalos, velocidad y área proyectada; los cuales se adaptan a las condiciones de tránsito heterogéneo imperantes en Cuba.

2.1 Generalidades de la metodología para la determinación de los factores de equivalencia vehicular

En este epígrafe se muestra el procedimiento a seguir para determinar los factores de equivalencia vehicular para vías urbanas en Santa Clara.

1. Clasificación funcional de las vías urbanas
2. Selección de los tramos de vías urbanas a analizar
3. Agrupación de los vehículos por categorías
4. Realización del aforo vehicular en la hora pico
5. Selección del tamaño de la muestra a utilizar en la investigación
6. Trabajos de campo en los sitios seleccionados
7. Aplicación de los métodos seleccionados para determinar los factores de equivalencia vehicular
8. Obtención de los factores por tipos de vehículos
9. Análisis de los resultados

2.2 Clasificación funcional de las vías urbanas

La clasificación de las vías urbanas se realiza a partir de la clasificación funcional vigente en la NC: 53-80-1987 (Clasificación-Funcional-Vías-Urbanas), donde las vías se clasifican en:

- Vías expresas

-Conducen el flujo vehicular rápido de los distritos de viviendas a zonas industriales periféricas del núcleo urbano. Permite además la comunicación del núcleo urbano con la red externa.

-Estas vías estarán localizadas en poblaciones mayores que 500 000 habitantes. Dan poco o ningún servicio a las zonas urbanas a cada lado de su trayectoria.

-Se encargan en una ciudad de aliviar la congestión del tránsito que no va dirigido a la misma. Estarán divididas en multicarriles con poco o ninguna intersección a nivel y podrán acomodar viajes de paso.

-Las vías expresas están bien diseñadas para grandes intensidades de tránsito a alta velocidad y son principalmente propuestas para dar servicio a los viajes largos. Las autopistas urbanas estarán contempladas dentro de la clasificación de vías expresas. Por la vía expresa circulará el transporte colectivo, expreso o semiexpreso. La vía expresa estará situada de manera que no trastorne el desarrollo previsto de los usos del terreno y servirá de barrera entre terrenos de distintos usos.

- Arterias principales

-Este sistema será el encargado de mover el tránsito en dirección hacia las vías expresas y el que provienen de ellas. Aunque este sistema sirva principalmente para mover el tránsito que entra o sale del área urbana, así como los movimientos transversales que rodean el centro de la ciudad actúan normalmente dándole servicios secundarios a las zonas pobladas a los lados.

-Estas vías se encuentran en ciudades con más de 100 000 habitantes. En estas vías se concentran los viajes de paso. El parqueo, la carga y la descarga pueden haber sido limitados o prohibidos en ella para mejorar su capacidad. La longitud del viaje principal será mayor que 1.5 km. Su uso por el medio de transporte colectivo será normal o semiexpreso.

-Permitirá la comunicación entre los diferentes distritos de la ciudad o zonas industriales, comerciales y residenciales con el centro a altas velocidades. Su diseño permitirá un volumen de tránsito intenso.

- Calle arterial menor

-Son las encargadas de comunicación de las zonas de viviendas o de industrias entre sí y con los lugares de descanso, en zonas de viviendas son periféricas a los distritos. Su diseño permitirá una velocidad y un tráfico vehicular menos intenso que el sistema arterial principal.

-Este sistema interconecta con el sistema arterial principal urbano, aumentándolo y proporcionando servicio a viajes de longitud menor de 1,5 km.

Estas vías se encuentran en ciudades mayores de 20 000 habitantes. Conecta un área o zona del perímetro urbano con el sistema arterial principal. Este sistema no se utilizará para viaje de paso por la ciudad, ni tendrá que ser continuo necesariamente. Se diferencia del sistema arterial principal, por la longitud del viaje que ellos pueden acomodar. Podrá ser usado por ómnibus y camiones para penetrar a un área y dar servicio directo a dicha área. Podrá conectar vías rurales de menor importancia con el sistema arterial principal.

- Calle colectora

-Este sistema difiere de los sistemas arteriales en que las vías de este sistema colector pueden penetrar en la vecindad distribuyendo viajes, desde las arterias a través de la superficie hasta su último destino, que puede ser en la calle local o colectora. Inversamente la calle colectora puede recoger tránsito de las calles locales de la vecindad y canalizarlas por los sistemas arteriales.

-Proporciona tanto el servicio de acceso al uso del terreno, como los movimientos de tránsito local entre los microdistritos de viviendas, áreas comerciales o zonas industriales.

-Proporciona el uso del medio de transporte colectivo para conectar un destino específico más próximos en casos de zonas comerciales. Definen el servicio de las arterias y la distribución de rutas de medios de transporte colectivo. Ofrece un buen nivel de movilidad al uso del medio de transporte colectivo permitiendo contener rutas de ómnibus.

- Calle local

- El sistema de calles locales comprende todas las instalaciones que no se encuentran en los sistemas de mayor categoría. Estas vías tienen como función principal el prever acceso inmediato a los lados de las zonas pobladas como a sistemas de un orden superior.

- Este sistema se utiliza fundamentalmente como red interna dentro de los microdistritos de viviendas, zonas industriales y comerciales. Ofrece el más bajo nivel de movilidad y no deberán contener rutas de ómnibus. Deliberadamente no deberá estimularse al servicio directo de tránsito, así como es preciso evitar que las use el tránsito de paso.

- La longitud del viaje principal será mayor de 0,8 km. Las calles locales se subclasifican de acuerdo a la ubicación del área en que sirven en:

1. Residenciales

2. Industriales

3. Comerciales

-Ocupan un gran por ciento del total de kilómetros de vías de una ciudad, pero aportan una pequeña proporción de vehículos por kilómetro de viaje.

2.3 Selección de los tramos de vías urbanas a analizar en el estudio

Los tramos de vías urbanas se seleccionan en función de la categoría funcional y técnica, las condiciones geométricas de la infraestructura vial, el volumen de tránsito, la capacidad vehicular, los índices de accidentalidad y la conectividad entre las arterias; además, es importante destacar que la investigación se desarrolla en terrenos llanos con pendiente menor o igual a un 3%. Esta selección se realiza a partir de los resultados obtenidos en la clasificación mediante la NC: 53-80-1987 y de los criterios para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, en cuanto al funcionamiento del tránsito en la provincia.

2.4 Agrupación de los vehículos por categorías

La clasificación de los vehículos según la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, se caracteriza por mostrar cada uno de los tipos de vehículos con sus características fundamentales. Para el presente estudio se toma la clasificación ofrecida por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito de Villa Clara que agrupa los vehículos por categorías en función del peso y la geometría como se muestra en la tabla 2.1 siguiente:

Tabla 2.1 Categorías según el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Categoría	Vehículos que incluye
Ligeros	Autos, microbús (menos de 16 asientos), jeeps, paneles, camionetas
Pesados	Camiones, arrastre, cuña, remolque, semirremolque
Ómnibus	(Más de 16 asientos)
Motos	Ciclomotor y motorinas
Ciclos	Bicicletas y triciclos
Equipos especializados	Tractores, equipos de construcción (grúas, cargadores, etc.)
Vehículos de tracción animal	Vehículo arrastrado o tirado por animales.

Fuente: Elaboración propia

2.5 Realización del aforo vehicular durante la hora pico

En Ingeniería de Tránsito, la medición básica más importante es el conteo o aforo, ya sea de vehículos, ciclistas o peatones. Los métodos de aforo vehicular se utilizan para la obtención de la información referente a los

volúmenes de tránsito. El aforo es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza y tienen por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de una carretera o calle o a una intersección.

La importancia de los aforos radica en el planteamiento de nuevos proyectos como una nueva vía de comunicación, la ampliación de alguna vialidad, así como en el establecimiento de condiciones que se esperan obtener en un futuro, los errores que se cometen en la determinación de volúmenes de tránsito, se traducirán en problemas como congestionamiento por volúmenes muy superiores a los previamente proyectados. Es fundamental para la planeación y operación del tránsito conocer las variaciones periódicas de los volúmenes dentro de las horas de máxima demanda, en horas del día, semanas, meses o años, ya que dicha variación se analiza en función de su distribución direccional y composición vehicular. Así mismo es importante conocer las condiciones actuales de operación de la intersección como, tiempos de semáforos, estacionamientos, número y ancho de carriles.

Existen distintas formas de obtener los conteos de volúmenes de tránsito, para lo cual se han utilizado equipos de medición. Pueden distinguirse dos clases principales de aforos: manuales y con instrumentos registradores, aunque a veces también se utiliza el método de filmación. El período de conteo no debe comprender condiciones en las que se presentan eventos especiales, a menos que se desee estudiar específicamente esa situación. No es recomendable que los aforos de tránsito se lleven a cabo en días festivos ni en días anteriores o posteriores a estos, tampoco cuando existen condiciones atmosféricas adversas que pudieran afectar el flujo.

Métodos para la realización de aforos

❖ Aforos manuales

El aforo manual es un método para obtener datos de volúmenes del tránsito a través del uso de personal de campo conocido como aforadores de tránsito, los cuales se colocan en puntos estratégicos para que tengan la visibilidad necesaria para realizar el conteo de cada vehículo que circula. Este método es el más común, se puede obtener información acerca del tamaño del vehículo, el tipo, número de ocupantes y otras características.

Los métodos manuales son usados frecuentemente para comprobar la exactitud de los contadores mecánicos. Así mismo, este método es usado cuando las condiciones físicas y climatológicas interfieren con el uso de los contadores automáticos del tránsito.

Estos métodos presentan ventajas y desventajas entre las cuales se encuentran:

- Ventajas: Se puede obtener mayor exactitud; puede ser obtenida más información. Ayuda a corregir el porcentaje de vehículos de más de dos ejes, con el objetivo de corregir los globales obtenidos en los aforos automáticos.
- Desventajas: Duran períodos de tránsito elevados por lo que es necesario más de una persona para efectuar los aforos.

La mayoría de los aforos manuales son cortos y se hacen en las horas pico, durante una o dos horas, divididas en períodos que son comúnmente de 15 minutos. Cuando interesa conocer las variaciones diurnas de los volúmenes, los aforos se hacen de siete de la mañana a siete de la noche, período en el que se considera circula el 70% del volumen diario.

Dentro de la precisión de los estudios se destaca el error estimado de la muestra:

- menos del 10% si $TPD > 500$ veh/día
- menos del 20% si $TPD < 500$ veh/día
- Nivel de confianza del 95%

❖ Aforos automáticos

Los contadores automáticos se utilizan para obtener conteos vehiculares en lugares situados a mitad de cuadra o en tramos continuos a campo abierto. Además, son considerados en la mayoría de los aforos que se requieren más de 12 horas de datos continuos en el mismo lugar. El aforo automático presenta ventajas y desventajas, las más representativas se mencionan a continuación:

- Ventajas: Bajo costo, extenso tiempo de cobertura.

- Desventajas: No pueden registrar movimientos de vuelta, están sujetos a vandalismo, presenta posibles errores para contar vehículos con precisión, cuando se tienen vehículos de tres o más ejes.

En estos últimos años ha surgido un tipo de contador para detectar el paso de los vehículos (no sus ejes). Combina las unidades captadoras y acumuladoras en un dispositivo muy pequeño que es completamente independiente y se ubica sobre el pavimento. Puede registrar también la velocidad, tipo y longitud de los vehículos. Un programa informático reduce, analiza los datos captados y produce distintos tipos de gráficos.

❖ Filmación con análisis automático de imágenes

Existen además otros métodos como la filmación y el uso de cámaras virtuales, mediante las cuales se obtiene un conteo más preciso y confiable, permite una descarga directa de la información a una computadora, además se puede captar mucha información simultánea y adicional. También presenta ventajas y desventajas, las cuales se muestran a continuación:

- Ventajas: Es posible obtener todos los movimientos direccionales, ofrece mayor confianza pues se puede comprobar los datos que aparezcan erróneos, se trabaja más cómodamente.
- Desventajas: Puede no resultar económico

Este método permite la determinación de volumen, ocupación, velocidad, densidad y giros. Además, permite el registro en tiempo real del tránsito vehicular y peatonal, para el análisis de demoras, colas, incidentes y puntos conflictivos.

❖ Otros métodos

Existen otros métodos como el uso de contadores ópticos y láser, que son más confiables en los resultados, permiten un registro continuo durante todo el año, detectan y clasifican los vehículos, su posición respecto al carril y velocidad. También pueden ser elementos más costosos.

A partir de lo expuesto anteriormente en relación a los métodos para los estudios de volúmenes de tránsito se decide que el aforo vehicular debe ser realizado manualmente apoyados de la cámara de video en las vías seleccionadas para el estudio. A través de un modelo se recogen las

categorías de los vehículos, la cantidad que pasan y en total en cada período, como se muestra en la tabla (2.2):

Tabla 2.2. Modelo para el aforo vehicular

	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito							
	Ministerio del Interior							
MININT	Organización del Tránsito Volumen de vehículos						Hoja de campo	
Lugar:				Tramo:				
Fecha:				Sentido:				
Tiempo:				Chequeador:				
Categorías	Cantidad de vehículos							
	Hora		Hora		Hora		Hora	
	dos ruedas	tres ruedas	dos ruedas	tres ruedas	dos ruedas	tres ruedas	dos ruedas	tres ruedas
Ligeros								
Pesados								
Ómnibus								
Motos								
Ciclos								
Equipos especializados								
Vehículos de tracción animal								
Total								

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara

2.6 Selección del tamaño de la muestra a utilizar en la investigación

Luego de la realización de los aforos en las vías seleccionadas, se toma el período de 15 minutos más cargado para cada categoría como el tamaño de la población para la selección de la cantidad de vehículos a analizar.

Mediante la ecuación (2.1) se calcula el número de muestras que se recomienda utilizar cuando se conoce el tamaño de la población:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{NE^2 + Z^2 pq} \quad (2.1)$$

Donde:

n = número de muestras

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza (95%)

p = variabilidad positiva (0,5)

q = variabilidad negativa (0,5)

E = precisión o error (5%)

2.7 Trabajos de campo en los sitios seleccionados

2.7.1 Determinación de la velocidad

La velocidad es de gran importancia para cualquier estudio de tráfico, ya que todos los conceptos fundamentales están relacionados con ella, es una medida importante de la calidad del servicio que se proporciona al usuario de la vía.

Los estudios de velocidad son realizados con la finalidad de estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un flujo vehicular y en un lugar específico en una vía. Las características de velocidad que se determinan en un estudio pueden usarse para evaluar el efecto de la velocidad en la seguridad de las vías mediante el análisis de los datos de accidentes para diferentes características de la velocidad, también para determinar las tendencias de velocidad, para determinar las características geométricas de la vía, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas.

En la actualidad existen varios factores que afectan la velocidad entre los que se pueden distinguir: los físicos, que afectan el funcionamiento de los vehículos y las percepciones del conductor; los psicológicos que modifican el comportamiento del conductor y los artificiales, que también influyen en el comportamiento del conductor.

Existen varios métodos para la determinación de la velocidad, entre ellos está determinación manual o por medios como el enoscopio y el radar.

- **Procedimiento Manual**

El término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. La velocidad en calles generalmente se considera uniforme desde el punto de vista académico, si bien esto no es evidente en la realidad. Esa velocidad uniforme se calcula mediante la siguiente ecuación (2.2):

$$V = D/T \quad (2.2)$$

Donde:

D = distancia recorrida (m o km)

T = tiempo empleado (s o h)

En las zonas urbanas las velocidades de los vehículos son mucho menores que en carreteras debido al mayor grado de congestión y al mayor número de obstáculos al avance (semáforos, peatones, paradas de otros vehículos).

- **Estudios de velocidad en un punto con enoscopio**

En este método, la presencia de vehículos se detecta con medios electrónicos, se obtiene la información sobre estos vehículos, las características del tráfico tales como: velocidad, volumen, demoras. El enoscopio tiene una gran ventaja puede detectar el tráfico en muchas localizaciones dentro del campo visual de la cámara fotográfica. Es el sistema más sencillo para medida de velocidad, se podría decir definir como un sistema de baja tecnología basado en la observación directa del paso del vehículo por parte de una persona, midiendo el tiempo que el vehículo tarda en recorrer una distancia conocida.

Este estudio se realiza mediante el enoscopio auxiliado de una cuerda y un cronómetro. La duración será de un conteo de 120 vehículos o 2 horas de conteo ininterrumpido en cualquier hora. El enoscopio se sitúa a 30 m del observador cuando el estudio se hace en una zona urbana o curvas a 50 m. Cuando el observador percibe la imagen de un vehículo en el espejo del enoscopio pone en marcha el cronómetro y no lo para hasta que el vehículo pase frente a él, entonces anota el tiempo correspondiente de cada vehículo y en el tiempo que horizontalmente corresponda, y así va llenando el modelo OT-1 que dice:

- Lugar: El lugar donde se realiza el estudio.
- Entre: Entre que calles se encuentra el punto
- Fecha: La fecha en que se realiza.
- Sentido: Hacia qué sentido se están tomando las velocidades.
- Distancia: Se pondrá la distancia a la que se encuentra el chequeador del aparato.
- Tiempo: Se pondrá las horas a las que se realiza el estudio.

- **Estudios de velocidad en un punto con la pistola radar**

Para la realización de este método el equipo se divide en parejas, el radista (el que apunta con el radar y mide la velocidad) y el otro compañero anota la velocidad en el modelo (OT-1A).

Este modelo se llenará previo al estudio del modo siguiente:

- Lugar: Ahí se anotará la vía que se trate.
- Fecha: Día que se realice el estudio, mes y año.
- Hora: Hora del comienzo del estudio.
- Entre: Significa entre los lugares que se realiza el estudio.
- Sentido: El sentido hacia el cual los vehículos se dirigen.
- Equipo usado: El medio que usa para el estudio.

Al realizar el estudio los dos compañeros estarán solos. El del radar estará próximo a la vía, pero no encima de ella. El anotador puede estar sentado pero próximo al compañero del radar. Cuando se acercan varios vehículos deben tomar la velocidad del vehículo más cercano.

De los métodos antes mencionados se selecciona el método manual, se determina la velocidad a la cantidad total de vehículos por categorías que se obtienen al aplicar la ecuación (2.1) y se registran en la siguiente tabla (2.3):

Tabla 2.3 Modelo para la determinación de la velocidad

CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO MINISTERIO DEL INTERIOR							
ESTUDIO DE VELOCIDAD EN UN PUNTO							
LUGAR:				FECHA:			
SENTIDO:				EQUIPO USADO:			
VELOCIDAD PARA CADA CATEGORÍA							
CICLOS	MOTOS		LIGEROS	PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL
	DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS					

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

2.7.2 Mediciones de los intervalos

El intervalo es el tiempo que transcurre entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el mismo extremo del siguiente vehículo. Las ecuaciones siguientes serán utilizadas para el cálculo de los intervalos:

El intervalo promedio es el promedio de todos los intervalos simples, existentes entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad, por tratarse de un promedio se expresa en segundos por vehículos (s/veh) y se calcula mediante la siguiente ecuación (2.3):

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N-1} \quad (2.3)$$

Donde:

h = intervalo promedio (s/veh)

N = número de vehículos (veh)

$N-1$ = número de intervalos (veh)

h_i = intervalo simple entre el vehículo i y el vehículo $i+1$ (veh)

Para obtener el intervalo es necesario determinar inicialmente la brecha o claro según la ecuación (2.4), donde la brecha es el tiempo que media entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente.

$$\text{Brecha o Claro} = h - \frac{L_L}{V_F} \quad (2.4)$$

Donde:

h = es el tiempo de intervalo

L_L = longitud del vehículo líder

V_F = velocidad del vehículo que sigue al líder

El intervalo se calcula mediante la ecuación (2.5), para el cual se utiliza la brecha o claro determinado en la ecuación (2.4):

$$\text{Intervalo} = \text{Brecha o claro} + \frac{L_F}{V_F} \quad (2.5)$$

Donde:

L_F = longitud del vehículo que sigue al líder.

V_F = velocidad del vehículo que sigue al líder

Los intervalos deben ser medidos cuando el conductor se encuentra fijo en el carril. Esto implica, primero, que el conductor ha mantenido su colocación y su posición relativa a otros vehículos en el carril sobre un tramo de la calle (90 metros antes y después de un punto de observación) y segundo, que ha tenido la oportunidad de ajustar su velocidad y espaciamiento relativo con respecto al vehículo principal.

Los vehículos no viajan a intervalos uniformes, sino que lo hacen en grupos con un intervalo promedio cada uno, reflejando concentraciones vehiculares que se mueven en forma de ondas a través del tiempo. Más aún, en situaciones más cercanas a la realidad, los vehículos circulan en forma dispersa. La heterogeneidad del flujo se tiene en cuenta suponiendo el patrón de llegadas como un proceso aleatorio (Spíndola & Grisales, 1994).

La presente investigación utiliza el video como el método para la determinación de los intervalos, para esto se realiza marcas sobre el pavimento y cumpliendo

los requisitos mencionados anteriormente se obtienen los datos necesarios para desarrollar las ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5.

2.8 Aplicación de los métodos seleccionados para determinar los factores de equivalencia vehicular

Existen varios métodos para determinar los factores de equivalencia vehicular, entre los cuales están el método basado en el intervalo de tiempo, el método basado en la velocidad y el método basado en la velocidad y el área proyectada. Cada método se puede utilizar para tráficos tanto homogéneos como heterogéneos, ya sea en zonas urbanas o rurales; también pueden ser empleados en autopistas, en vías multicarriles o en vías de dos carriles. Los métodos seleccionados se especifican a continuación:

El método basado en la velocidad y área proyectada se desarrolla según la metodología propuesta por (Chandra & Sikdar, 2000) para estimar los factores de equivalencia vehicular para condiciones de tráfico mixtas, mediante la ecuación (2.6).

$$FEV = \frac{V_c/V_i}{A_c/A_i} \quad (2.6)$$

Donde:

FEV= Factor de equivalencia vehicular

V_c y V_i = velocidad media del coche y tipo i vehículo, respectivamente, en el flujo de tráfico

A_c y A_i = sus respectivas áreas rectangulares proyectadas (largo * ancho) en la calle

Además, se utiliza el método basado en la velocidad, el área proyectada y el intervalo de los vehículos propuesto por (Srikanth & Mehar, 2017) el cual plantea la ecuación (2.7) para determinar el factor de equivalencia vehicular:

$$FEV_i = F_v * F_h * F_a \quad (2.7)$$

Donde:

FEV_i= Factor de equivalencia vehicular

F_v= Factor velocidad del vehículo tipo i.

F_h= Factor intervalo del vehículo tipo i.

F_a= Factor área proyectada del vehículo tipo i.

El factor velocidad (F_v) se determina mediante la ecuación (2.8):

$$F_v = \frac{V_c}{V_i} \quad (2.8)$$

Donde:

V_c= Velocidad media de los automóviles ligeros.

V_i= Velocidad media de los vehículos tipo i.

El factor área proyectada (F_a) se determina mediante la ecuación (2.9) y representa la relación existente entre el área del vehículo analizado y el vehículo ligero.

$$F_a = \frac{A_i}{A_c} \quad (2.9)$$

Donde:

A_i = Área del vehículo tipo i.

A_c = Área del vehículo ligero.

El factor área proyectada (F_a) se determina mediante la ecuación (2.10):

$$F_h = \frac{h_i}{h_c} \quad (2.10)$$

Donde:

h_c = intervalo promedio de los vehículos ligeros.

h_i = intervalo promedio de los vehículos tipo i.

Para la obtención de los factores de equivalencia vehicular (Rahman & Nakamura, 2005) aplicaron el método de la velocidad, para vehículos no motorizados mediante la siguiente ecuación (2.11):

$$FEV_{NMV} = 1 + \frac{V_b - V_m}{V_b} \quad (2.11)$$

Donde,

FEV_{NMV} = factor de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados

V_b = velocidad promedio de automóviles de pasajeros en el flujo básico (km / hr)

V_m = velocidad promedio de automóviles de pasajeros en el flujo mixto (km / hr)

En la presente investigación la ecuación (2.11) que es utilizada en el método de Rahman y Nakamura, 2005 se le realiza una modificación con el objetivo de obtener valores lógicos, por lo que se utiliza la siguiente ecuación (2.12):

$$FEV_{NMV} = 1 + \frac{V_b - V_m}{V_m} \quad (2.12)$$

Donde,

FEV_{NMV} = factor de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados

V_b = velocidad promedio de automóviles de pasajeros en el flujo básico (km / hr)

V_m = velocidad promedio de automóviles de pasajeros en el flujo mixto (km / hr)

Después de calcular los diferentes factores de equivalencia vehicular por tipos de vehículos en cada vía se determinan las siguientes ecuaciones:

1. El factor equivalente medio según la ecuación (2.13):

$$F. eq. medio = \frac{\sum F}{N} \quad (2.13)$$

Donde:

F. eq. medio = Media de los factores equivalentes

F = Factores equivalentes

N = Número de factores equivalentes calculados en cada vía

2. La desviación estándar según la siguiente ecuación (2.14):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(F.\text{eq.medio}-F)^2}{N-1}} \quad (2.14)$$

Donde:

S= Desviación estándar

F. = Factores de equivalencia vehicular

F. eq. medio= Factor equivalente medio

N= Número de factores de equivalencia vehicular calculados en cada vía

3. El intervalo de confianza para un nivel de confiabilidad del 95% se determina de la forma siguiente mediante la ecuación (2.15):

$$I = F.\text{eq. medio} \pm S * K \quad (2.15)$$

Donde:

I = intervalo de confianza

S = Desviación estándar

F. eq. medio = Media de los factores equivalentes

K = Constante de confiabilidad para el 95%=1,96 según la tabla 9.6 del libro de Ingeniería de Tránsito, Cal, et al, 2010

2.9 Análisis de los resultados

Luego del cálculo de los factores de equivalencia vehicular para las vías urbanas seleccionadas, se procede a la comparación con los factores recomendados por la NC: 53-118-1984 (basada en el cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba) y se analiza la influencia de estos nuevos factores de equivalencia vehicular en los estudios de ingeniería de tránsito.

Conclusiones parciales

- Se propone un procedimiento metodológico que permite determinar los factores de equivalencia vehicular para las diferentes categorías de vehículos existentes en las vías urbanas de la provincia de Villa Clara tomando al automóvil como vehículo unitario.
- La selección de las vías utilizadas en la investigación se realiza a partir de los resultados obtenidos en la NC 53-80-1987 y de criterios como la conectividad que ofrecen a la ciudad, el volumen de vehículos que son capaces de almacenar, la capacidad vehicular y los índices de accidentalidad que muestran.
- Se emplean para los estudios de volúmenes de tránsito aforos manuales en los tramos de vías seleccionadas auxiliados por medio de la cámara de video para la determinación de los estudios de velocidad y mediciones de los intervalos, aplicando las categorías ofrecidas por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito.
- La determinación de la velocidad se realiza utilizando el método manual, y se emplean varios métodos para determinar los factores de equivalencia vehicular, entre los cuales están, el método basado en la velocidad y el área proyectada de los vehículos, el método de los intervalos.
- Se utilizan varias fórmulas estadísticas para el procesamiento de los datos como la media de los factores de equivalencia vehicular y la desviación estándar de la muestra.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología planteada en el capítulo II referente a la determinación de los factores de equivalencia vehicular. Los valores obtenidos por los diferentes métodos aplicados son comparados con los que establece la NC: 53-118-1984. Además, se analiza la influencia de los factores de equivalencia vehicular que no contempla la NC: 53-118-1984 en los estudios de ingeniería de tránsito y en otros estudios que requieran volumen de vehículos y se arriba a conclusiones.

3.1 Clasificación de las vías urbanas en el territorio

El estudio se realiza a las principales vías urbanas de Santa Clara, por tanto, la clasificación funcional de estas vías se realiza a partir de la clasificación obtenida según la NC: 53-80-1987 (Clasificación Funcional- Vías Urbanas). En la siguiente tabla 3.1 se muestran los resultados de la clasificación:

Tabla 3.1. Clasificación funcional de las principales vías urbanas de Santa Clara

Vías	Clasificación según NC 53-80-1987
Carretera Central desde Palacio Pioneros-Avenida 9 Abril	Arteria principal
Carretera Camajuaní desde Tren Blindado-Calle Tomás Ruiz	Calle arterial menor
Calle Unión entre Independencia y Martí	Calle colectora
Calle Maceo entre N ^{tra} Nicolasa y Avenida 9 de Abril	Calle colectora
Calle Colón entre Estrada Palma y Misionero	Calle colectora
Calle Martí entre Luis Estévez y Máximo Gómez	Calle colectora
Calle Cuba entre Estrada Palma y Misionero	Calle colectora
Calle San Miguel entre Juan Bruno Zayas y Alemán	Calle colectora

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar la mayoría de las vías urbanas seleccionadas tienen la clasificación de vías colectoras, las cuales corresponden a las vías que enlazan las viviendas, áreas comerciales o zonas industriales con buena movilidad.

Estas calles colectoras no son las únicas existentes en la ciudad de Santa Clara, pero en esta investigación serán utilizadas solo las principales. Además, tenemos vías locales, las cuales representan un gran porcentaje de las vías en Santa Clara, estas calles dan acceso a las viviendas y no se mencionan en la presente investigación debido a que no es factible aplicar la metodología

planteada en el capítulo II de la presente investigación debido a que estas vías no presentan el volumen vehicular necesario para aplicar los métodos seleccionados para determinar los factores equivalentes.

3.2 Selección de los tramos de vías urbanas a utilizar en el estudio

Las calles que se muestran a continuación se seleccionaron entre las calles colectoras que se presentan en el epígrafe anterior, se escogieron estas vías para realizar el aforo vehicular debido a que la mayoría de las calles existentes son calles colectoras, dado a que en una primera visita realizada a la zona de estudio se observa que estas vías presentan un mayor volumen vehicular y gran heterogeneidad del parque vehicular, donde están presentes todos los vehículos que circulan en la actualidad por las calles de Santa Clara, debemos precisar que la investigación se desarrolla en tramos llanos con pendiente menor o igual a un 3%.

- 1) Calle Maceo entre N^{tra} Nicolasa y Avenida 9 de abril
- 2) Calle Colón entre Estrada Palma y Misionero
- 3) Calle Martí entre Luis Estévez y Máximo Gómez

Estas son las vías objeto de estudio, ya que según información brindada por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito se encuentran dentro de las que presentan mayor tráfico vehicular y peligrosidad debido al nivel de accidentalidad.

3.3 Agrupación de los vehículos por categorías

En la presente investigación se utiliza la clasificación vehicular que ofrece el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, cada categoría y los tipos de vehículos que incluye se muestran en la tabla 2.1 del capítulo II.

3.4 Realización del aforo vehicular durante la hora pico

A las vías seleccionadas en el epígrafe anterior se le realizan aforos manuales mediante el uso de una cámara de video, estudios precedentes demuestran que el horario de máxima demanda es de 7:30am a 8:30am, por lo que el aforo vehicular se realiza en este horario, estos aforos se presentan en el anexo I. En la tabla 3.2 además se muestran los porcentajes para cada categoría en función del total de vehículos aforados durante la hora de máxima demanda.

Tabla 3.2. Porciento para cada categoría durante la hora de máxima demanda (7:30 - 8:30)

Vías		Calle Maceo	Calle Colón	Calle Martí
Total de vehículos aforados durante la hora pico		748	857	675
Categorías		Porciento para cada categoría (%)		
Ciclos		22	31	22
Motos	DE DOS RUEDAS	30	25	33
	DE TRES RUEDAS	9	17	7
Ligeros		26	17	35
Pesados		1	0	1
Ómnibus		1	3	1
Equipos especializados		1	0	0
Vehículos de tracción animal		10	7	1

Fuente: Elaboración propia

Mediante los aforos vehiculares se logra determinar los tipos de vehículos que con mayor frecuencia circulan en las calles colectoras de la ciudad de Santa Clara, estos son las motos de dos ruedas, los ciclos y los vehículos ligeros. En la calle Colón existe un alto valor de motos de tres ruedas mientras que en la calle Maceo existe un valor elevado de vehículos de tracción animal, producto a que por esta calle existe una ruta de estos vehículos desde la estación de ferrocarril hasta la zona hospitalaria.

3.5 Selección del tamaño de la muestra a utilizar en la investigación

En los 15 minutos más cargados para cada una de las vías seleccionadas, se calculan las unidades de muestra mediante la ecuación (2.1) que encuentra en el epígrafe 2.6 del capítulo II, ver anexo IV.

Los resultados se muestran en la tabla 3.3, donde se incluyen el total de vehículos aforados, el número de muestras calculadas y la cantidad de muestras realizadas.

Tabla 3.3. Total de muestras analizadas

Vías		Calle Maceo	Calle Colón	Calle Martí
Hora pico		7:30-8:30	7:30-8:30	7:30-8:30
15 minutos más cargados		7:30-7:45	7:30-7:45	7:30-7:45
Categorías		Total de vehículos aforados / Muestras / Muestras analizadas		
Ciclos		54/34/35	76/41/42	42/29/32
Motos	DE DOS RUEDAS	50/32/33	62/37/40	63/37/40
	DE TRES RUEDAS	19/16/18	36/26/28	11/10/11
Ligeros		58/35/44	45/30/34	60/36/42
Pesados		2/2/5	0/0/1	2/2/2
Ómnibus		5/5/5	5/5/7	0/0/4
Equipos especializados		0/0/4	0/0/0	1/1/1
Vehículos de tracción animal		26/20/23	14/12/14	1/1/4

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un total de 411 muestras, de ellas se analizan 469 durante los trabajos de campo, para un 113% en el cumplimiento de la muestra. En la tabla 3.4 se presenta la cantidad total de muestras realizadas para cada categoría, donde la mayor cantidad pertenece al grupo de vehículos ligeros con 120 muestras, lo que se corresponde con la metodología adoptada en la investigación, que presenta este tipo de vehículo como la unidad de referencia para la determinación de los factores de equivalencia vehicular. Igualmente se destacan las motos de dos ruedas con 113 muestras y los vehículos especializados presentan la menor cantidad de muestras con un total de 5, se analizan pocas muestras debido a que circula un pequeño porcentaje de este tipo de vehículos, como es el caso de la calle Colón que no se realiza el estudio a estos vehículos especializados ya que no circulan por esta calle.

Tabla 3.4. Muestras realizadas para cada categoría

CICLOS	MOTOS		LIGEROS	PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL	TOTAL
	DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS						
109	113	57	120	8	16	5	41	469

Fuente: Elaboración propia

3.6 Trabajos de campo

3.6.1 Determinación de la velocidad

La medición de las velocidades se determina mediante el uso de la cámara de video en función del total de muestras a analizar en las vías seleccionadas y para cada categoría utilizando la ecuación (2.2) que se muestra en el capítulo II.

Durante los estudios de velocidad, se aprecia que los mayores valores corresponden a los vehículos ligeros en cada una de las vías donde se realiza la investigación, ver anexo II. La tabla 3.5 muestra la velocidad y la velocidad máxima registrada para este tipo de vehículo en cada vía seleccionada.

Tabla 3.5. Velocidad de los vehículos ligeros

Vías	Velocidad (km/h)	Velocidad máxima (km/h)
Calle Maceo	27	30
Calle Colón	40	60
Calle Martí	35	45

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Determinación de las dimensiones de las diferentes categorías de los vehículos

Las dimensiones para cada categoría de vehículos se toman de países muy similares a Cuba en cuanto a las características del tránsito y de investigaciones cubanas que contengan estos datos, debido a que no existe un documento que contemple estas dimensiones. Para esto se tiene en cuenta las dimensiones establecidas en la Ley No 109, Código de Seguridad Vial.

Para los vehículos ligeros, pesados y ómnibus se toman las dimensiones que ofrece el Servicio Nacional de Camino de Bolivia en el documento "Texto del alumno de Ingeniería de Tráfico" (Johnson, 2004). Las dimensiones para las motos fueron seleccionadas a partir de un estudio realizado en Colombia por (Yarce, 2015) debido a la similitud en las características del tránsito de este país y Cuba. Para los ciclos se toman las dimensiones siguientes: 1,90 m de largo y 0,45 m de ancho; a partir de un estudio realizado en Japón en el año 2014, que muestra similitud a Cuba en cuanto al tipo de vehículo analizado en este caso (Castañeda, 2016).

Para los vehículos de tracción animal, las dimensiones se determinan de forma manual con una cinta métrica, dado que no existen investigaciones que contengan dimensiones que se ajusten a las características que presenta este tipo de vehículo en Cuba.

En los equipos especializados se toman las dimensiones de los vehículos pesados, debido a que la geometría es muy similar en algunos de los vehículos que forman parte de esta categoría, por ejemplo, los equipos destinados a la construcción (grúas, camiones hormigoneras etc) en su mayoría están adaptados sobre camiones.

Las dimensiones y el área para cada categoría, que se utilizan para la determinación de los factores de equivalencia vehicular, se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Dimensiones de los vehículos por categorías

Categoría		Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)
Motos	Ciclos	1,90	0,45	0,86
	DE DOS RUEDAS	1,90	0,60	1,14
	DE TRES RUEDAS	3,50	1,20	4,20
Ligeros		5,80	2,10	12,18
Pesados		9,40	2,60	24,44
Ómnibus		9,40	2,60	24,44
Equipos especializados		9,40	2,60	24,44
Vehículos de tracción animal		8,80	1,40	15,84

Fuente: Elaboración propia

El artículo 103 de la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, establece como ancho máximo 2,60 m, altura máxima 4,00 m y la longitud máxima para vehículos rígidos 15,00 m y para articulados 18,00 m. Como se puede apreciar en la tabla 3.6, las dimensiones escogidas para desarrollar la investigación cumplen con los límites establecidos para la circulación de los vehículos en Cuba.

3.6.3 Mediciones de los intervalos

El intervalo se determina apoyado en el uso de la cámara de video en función del total de muestras a analizar en las vías seleccionadas y para cada categoría utilizando las ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5 que se muestran en el capítulo II, ver anexo III.

La tabla 3.7 muestra los intervalos calculados para cada categoría de vehículos en las diferentes vías estudiadas, es importante destacar que la determinación de los intervalos se realiza mediante la selección del vehículo ligero como el que se encuentra en seguimiento del vehículo que se desea analizar.

Tabla 3.7. Intervalos para cada categoría de vehículos en las vías analizadas

Categorías		Calle Maceo	Calle Colón	Calle Martí
Ciclos		3,00	3,07	3,00
Motos	DE DOS RUEDAS	2,03	2,82	3,83
	DE TRES RUEDAS	2,83	2,56	3,08
Ligeros		3,60	2,92	2,80
Pesados		3,85	-	5,47
Ómnibus		4,36	2,98	5,9
Equipos especializados		3,74	-	-
Vehículos de tracción animal		3,80	1,76	3,14

Fuente: Elaboración propia

3.7 Determinación de los factores de equivalencia vehicular

Para la determinación de los factores de equivalencia vehicular se utilizan las ecuaciones 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 y 2.12 que pertenecen a los métodos seleccionados en el capítulo II en función de los aforos realizados, de los resultados obtenidos en los estudios de velocidad, de las áreas escogidas en cada categoría y de los parámetros del flujo vehicular determinados para cada una de las vías seleccionadas.

En las tablas resumen 3.8, 3.9 y 3.10 se muestran los valores de los factores de equivalencia vehicular obtenidos al aplicar los métodos seleccionados a cada categoría de vehículos observados en las vías seleccionadas para la realización de esta investigación, estos factores se muestran con mayor detalle en el anexo V. Además, también se observa el factor equivalente medio, la desviación estándar y el intervalo de confianza.

Tabla 3.8. Resultados obtenidos en la Calle Maceo

Métodos		Chandra-Sikdar 2000	Rahman-Nakamura 2005	Srikanth-Mehar 2016	F.eq.medio (Factor equivalente medio)	S (Desviación estándar)	I (Intervalo de confianza)
Categoría		Factor equivalente	Factor equivalente	Factor equivalente			
Ciclos		0,15	-	0,11	0,13	0,03	0,07 0,19
Motos	de dos ruedas	0,12	-	0,08	0,10	0,03	0,04 0,16
	de tres ruedas	0,41	-	0,28	0,35	0,09	0,16 0,53
Ligeros		1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00 1,00
Pesados		2,25	1,8	2,8	2,28	0,50	1,30 3,26
Ómnibus		2,09	1,5	2,6	2,06	0,55	0,98 3,14
Equipos especializados		3,86	2,7	4,81	3,79	1,06	1,72 5,86
Vehículos de tracción animal		2,72	1,9	2,14	2,25	0,42	1,43 3,08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9. Resultados obtenidos en la Calle Colón

Métodos		Chandra-Sikdar 2000	Rahman-Nakamura 2005	Srikanth-Mehar 2016.	F.eq.medio (Factor equivalente medio)	S (Desviación estándar)	I (Intervalo de confianza)
Categoría		Factor equivalente	Factor equivalente	Factor equivalente			
Ciclos		0,19	-	0,14	0,17	0,04	0,04 0,18
Motos	de dos ruedas	0,12	-	0,1	0,11	0,01	0,05 0,10
	de tres ruedas	0,45	-	0,44	0,45	0,01	0,28 0,31
Ligeros		1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00 1,00
Pesados		2,67	2,67	-	2,67	0,00	1,78 1,78
Ómnibus		2,66	2,22	2,54	2,47	0,23	2,03 2,92
Equipos especializados		-	-	-	-	-	
Vehículos de tracción animal		3,7	2,86	2,5	3,03	0,62	1,81 4,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Resultados obtenidos en la Calle Martí

Métodos		Chandra-Sikdar 2000	Rahman-Nakamura 2005	Srikanth-Mehar 2016.	F.eq.medio (Factor equivalente medio)	S (Desviación estándar)	I (Intervalo de confianza)
Categoría		Factor equivalente	Factor equivalente	Factor equivalente			
Ciclos		0,14	-	0,13	0,14	0,01	0,08 0,10
Motos	de dos ruedas	0,11	-	0,1	0,11	0,01	0,06 0,08
	de tres ruedas	0,42	-	0,49	0,46	0,05	0,21 0,40
Ligeros		1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00 1,00
Pesados		2,69	2,27	4,33	2,90	1,09	0,96 5,23
Ómnibus		2,51	1,7	3,79	2,55	1,05	0,60 4,73
Equipos especializados		3,89	3,4	4,42	4,16	0,51	2,90 4,90
Vehículos de tracción animal		2,76	2,19	3,5	2,68	0,66	1,53 4,10

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los factores de equivalencia vehicular obtenidos por los métodos aplicados en cada calle muestran que existe variación en cada una de las categorías analizadas. Los valores que presentan mayor desviación estándar pertenecen a los vehículos especializados, vehículos pesados y los ómnibus, esto se debe a las diferentes velocidades con que circulan estos vehículos. La calle Martí se destaca por presentar el mayor valor equivalente obtenido (4,16 unidades), que pertenece a los vehículos especializados. También es preciso destacar que los resultados de los vehículos de tracción animal, puesto que ningún estudio extranjero consultado durante la revisión bibliográfica hace referencia a esta categoría, para este grupo los valores en la calle Unión están sobre 2,25 unidades equivalentes, para la calle Colón presenta un factor de 3,03 unidades y para la calle Martí 2,68 unidades.

En las figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran el comportamiento de los resultados de los factores de equivalencia vehicular en cada una de las vías donde se realiza la presente investigación.

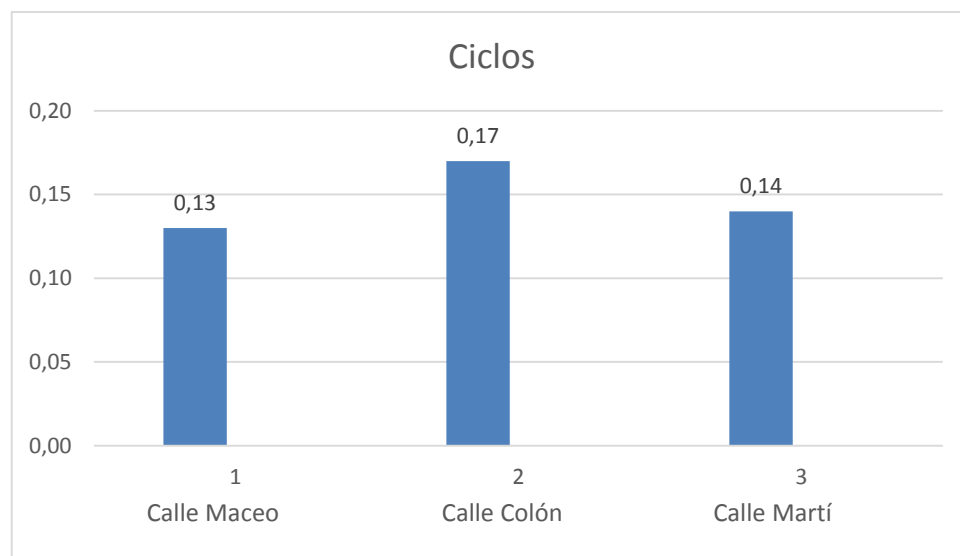


Figura 3.1 Factores de equivalencia vehicular para ciclos

Fuente: Elaboración propia

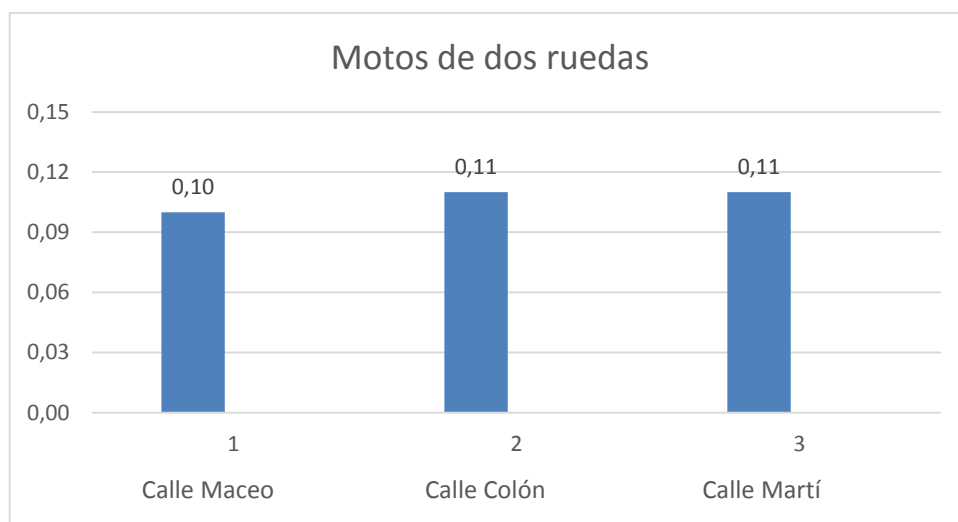


Figura 3.2 Factores de equivalencia vehicular para motos de dos ruedas
Fuente: Elaboración propia

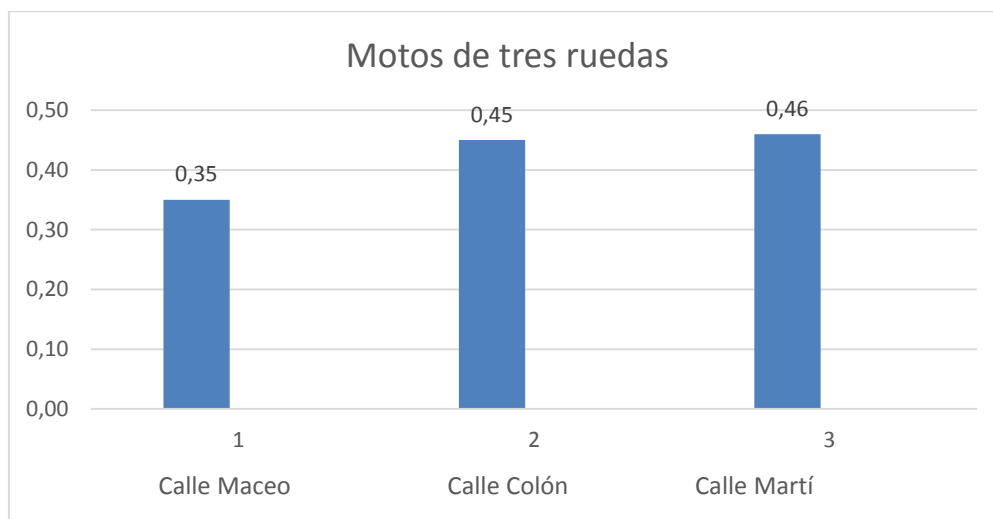


Figura 3.3 Factores de equivalencia vehicular para motos de tres ruedas
Fuente: Elaboración propia

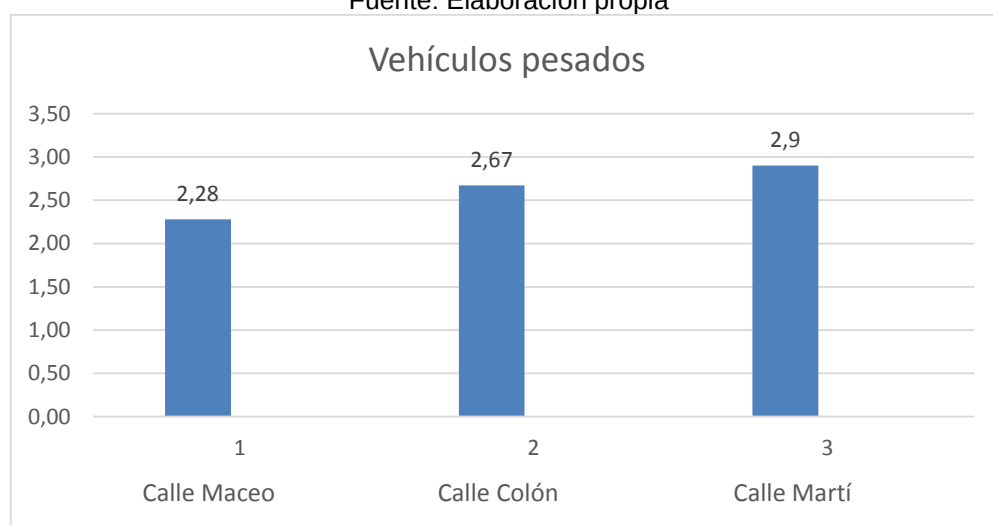


Figura 3.4 Factores de equivalencia vehicular para vehículos pesados
Fuente: Elaboración propia

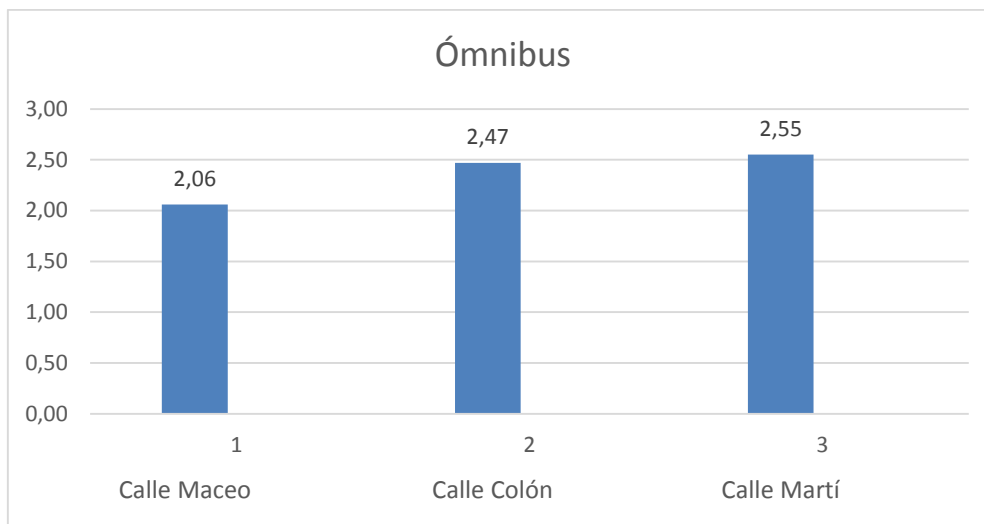


Figura 3.5 Factores de equivalencia vehicular para ómnibus
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.6 Factores de equivalencia vehicular para equipos especializados
Fuente: Elaboración propia

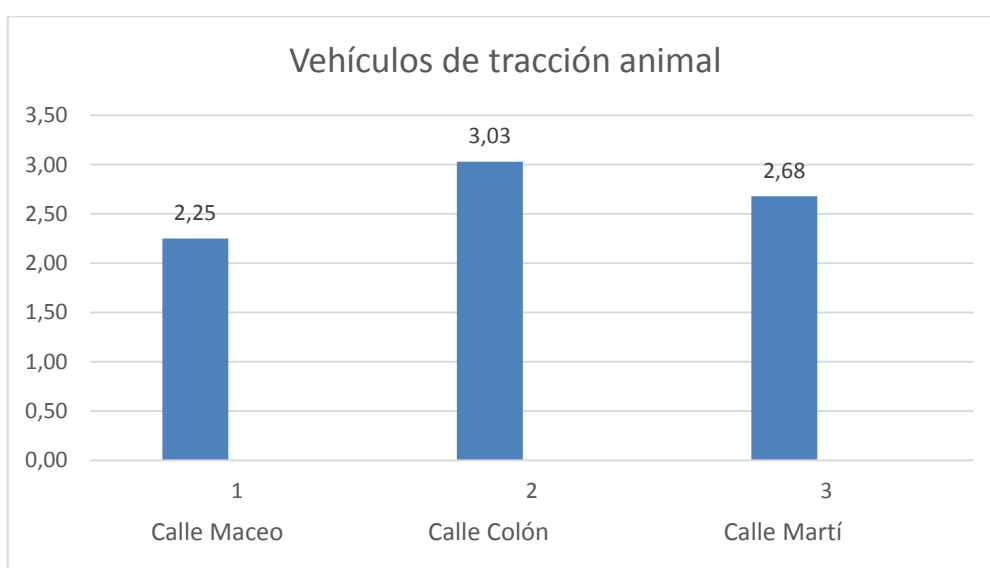


Figura 3.7 Factores de equivalencia vehicular para vehículos de tracción animal
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de una misma categoría para las tres vías seleccionadas se introducen en el programa *Statgraphics* donde se obtiene como resultado la tabla ANOVA, que muestra para todas las categorías la no existencia de diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%, ver figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 y con mayor detalle en el anexo VI.

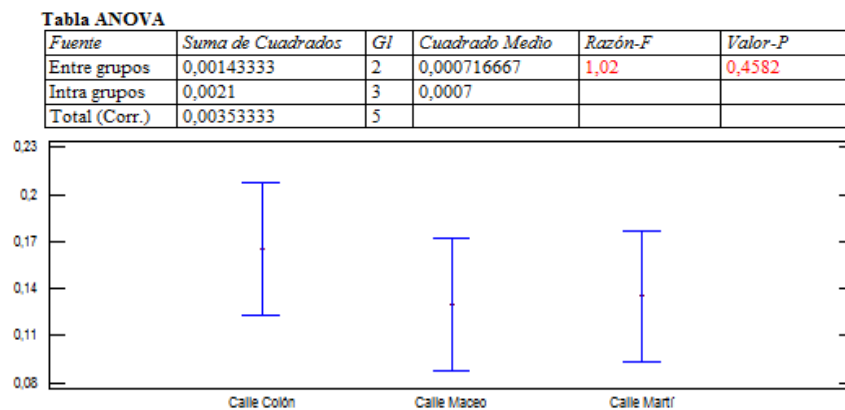


Figura 3.8 Tabla ANOVA de ciclos en calles colectoras
Fuente: Elaboración propia

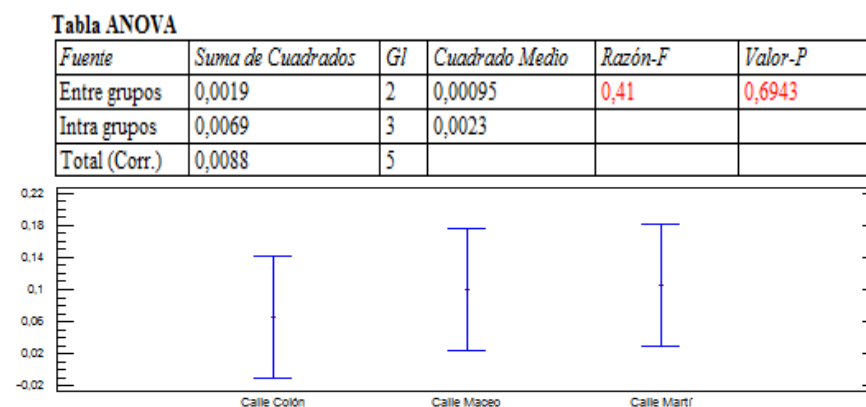


Figura 3.9 Tabla ANOVA de motos de dos ruedas en calles colectoras
Fuente: Elaboración propia

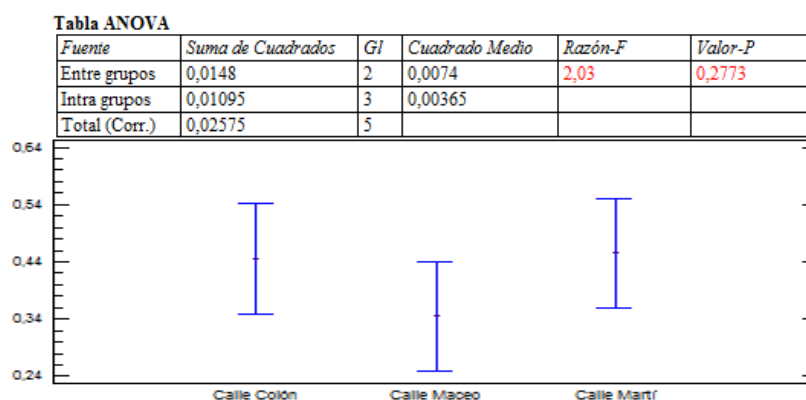


Figura 3.10 Tabla ANOVA de motos de tres ruedas en calles colectoras
Fuente: Elaboración propia

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,992867	2	0,496433	0,86	0,4760
Intra grupos	2,87153	5	0,574307		
Total (Corr.)	3,8644	7			

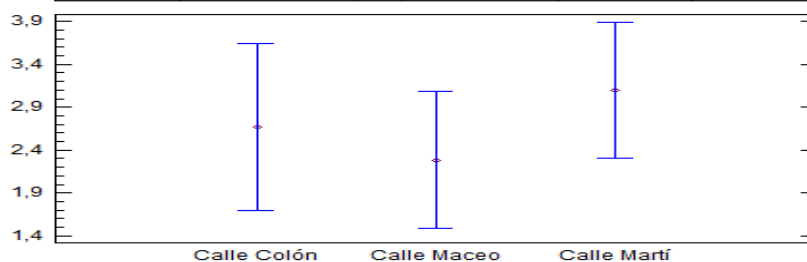


Figura 3.11 Tabla ANOVA de vehículos pesados en calles colectoras
Fuente: Elaboración propia

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,569489	2	0,284744	0,58	0,5870
Intra grupos	2,9304	6	0,4884		
Total (Corr.)	3,49989	8			

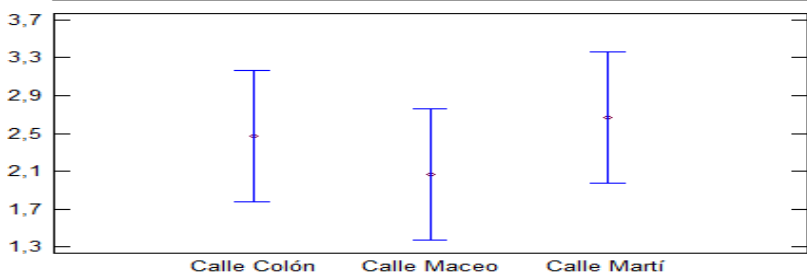


Figura 3.12 Tabla ANOVA de ómnibus en calles colectoras
Fuente: Elaboración propia

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,946467	2	0,473233	1,44	0,3092
Intra grupos	1,97673	6	0,329456		
Total (Corr.)	2,9232	8			

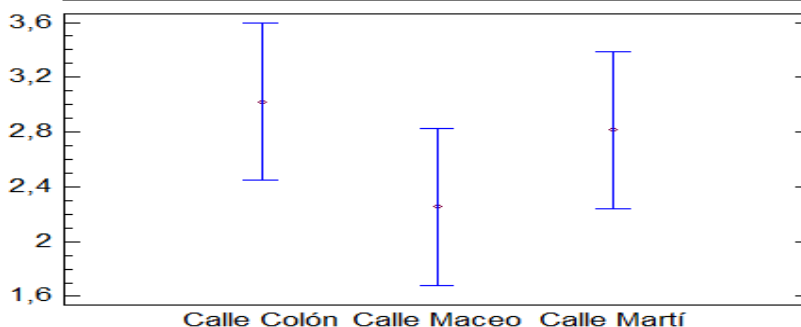


Figura 3.13 Tabla ANOVA de ómnibus en calles colectoras
Fuente: Elaboración propia

Después de comprobar estadísticamente mediante el *Statgraphics* que no existen diferencias significativas entre las medias de los factores de equivalencia vehicular obtenidos para cada categoría en las vías analizadas, se procede a agrupar todas las muestras realizadas durante los estudios de velocidad según las categorías y se obtienen los factores de equivalencia

vehicular para las principales calles colectoras de la ciudad de Santa Clara. La tabla 3.11 recoge los valores obtenidos de los factores de equivalencia vehicular.

Tabla 3.11. Resultados obtenidos para calles colectoras

Categoría		Factor equivalente
Ciclos		0,2
Motos	DE DOS RUEDAS	0,1
	DE TRES RUEDAS	0,4
Ligeros		1,0
Pesados		2,6
Ómnibus		2,4
Equipos especializados		4,0
Vehículos de tracción animal		2,7

Fuente: Elaboración propia

3.8 Análisis de los resultados obtenidos

3.8.1 Comparación de los factores de equivalencia vehicular determinados con los contemplados en la NC: 53-118-1984.

Luego de la obtención de los factores de equivalencia vehicular para cada una de las categorías propuestas por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, se procede a comparar los valores obtenidos con los contemplados en la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba). Esta norma solo tiene en cuenta los factores de equivalencia vehicular para ómnibus, camiones y autos, en función del nivel de servicio de la carretera, el tipo de terreno y la cantidad de carriles que posee la vía.

La tabla 3.12 muestra los valores de los factores de equivalencia vehicular según la NC: 53-118-1984 y los valores obtenidos en la presente investigación.

Tabla 3.12. Comparación de los factores de equivalencia vehicular

Categoría		Factor equivalente	
		NC: 53-118-1984	Presente investigación
Ciclos		-	0,20
Motos	DE DOS RUEDAS	-	0,10
	DE TRES RUEDAS	-	0,40
Ligeros		1,00	1,00
Pesados		2,50	2,60
Ómnibus		2,00	2,40
Equipos especializados		-	4,00
Vehículos de tracción animal		-	2,70

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que los factores determinados en el presente estudio incluyen a todos los tipos de vehículos que circulan actualmente por las calles

colectoras de la ciudad de Santa Clara, en cambio la norma cubana solo tiene en cuenta los valores para camiones, ómnibus y autos.

Para los vehículos pesados, el factor equivalente correspondiente a la presente investigación es mayor en 0,1 unidades al valor recomendado en la NC 53-118-1984.

Para los ómnibus, el factor equivalente obtenido es mayor en 0,4 unidades respecto al valor que recomienda la norma cubana.

3.8.2 Influencia de los factores de equivalencia vehicular determinados en los estudios de ingeniería de tránsito

Para demostrar la influencia de los nuevos factores equivalentes en los estudios de ingeniería de tránsito, se comparan la cantidad de vehículos equivalentes que se obtienen a partir de los valores de la NC 53-118-1984 y los determinados en la presente investigación. Para esto se selecciona la hora más cargada determinada en el aforo vehicular realizado a las vías seleccionadas, y como resultado se puede decir que la calle Colón fue la que mayor porcentaje de vehículos obtuvo. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Vehículos equivalentes para la Calle Colón

Categoría		Cantidad (7:30am - 8:30am)	NC 53-118- 1984	Vehículos equivalentes
				Presente investigación
Ciclos		262	0	52
Motos	Dos ruedas	217	0	22
	Tres ruedas	143	0	57
Ligeros		149	149	149
Pesados		1	3	3
Ómnibus		27	54	65
Equipos especializados		0	0	0
Vehículos de tracción animal		58	0	157
Total		857	206	505

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se obtiene la cantidad de vehículos equivalentes, que son el resultado de multiplicar el factor equivalente de cada categoría por la cantidad obtenida en el aforo vehicular. La cantidad total de vehículos equivalentes es mayor según los factores determinados en la presente investigación, con una diferencia de 299 unidades. Es preciso destacar que los factores equivalentes se consideran de cero unidades para las categorías que no contempla la norma cubana y esto trae como consecuencia que estas categorías presenten cero unidades de vehículos equivalentes como resultado.

3.8.3 Particularidades de los factores de equivalencia vehicular

Los factores de equivalencia vehicular influyen en el desarrollo de investigaciones de ingeniería de tránsito. En la tabla 3.14 se resume la influencia de los factores de equivalencia vehicular en cada estudio o problema.

Es preciso destacar que, para la determinación del nivel de servicio, en la tabla 3.14 solo se destaca la influencia de los factores de equivalencia vehicular para ómnibus y camiones. Esto se debe a que la metodología para el cálculo nivel de servicio está según el *Highway Capacity Manual* (2010), el cual está basado en las condiciones de operación de los Estados Unidos que no considera el tránsito por vías rurales de los ciclos, las motos y los vehículos de tracción animal. En Cuba el tránsito es heterogéneo y es necesario considerar todos los tipos de vehículos para cualquier estudio de ingeniería de tránsito.

Tabla 3.14. Influencia de los factores de equivalencia vehicular

Estudios o problemas	Influencia de los factores de equivalencia vehicular
Cálculo de semáforos	En el cálculo de semáforos, se realizan los aforos vehiculares correspondientes y se obtiene la cantidad de vehículos para cada categoría. Luego es necesario determinar los automóviles directos equivalentes y para estos deben determinarse primero los factores de giro, que incluyen el factor de vehículos pesados. Para determinar el factor de vehículos pesados, son indispensables los factores de equivalencia vehicular para ómnibus y camiones.
Determinación del nivel de servicio	Para la determinación del nivel de servicio, ya sea de una vía o intersección, es necesario calcular el factor de vehículos pesados, que incluye los factores de equivalencia vehicular para ómnibus y camiones.
Determinación del volumen vehicular	Para determinar el volumen vehicular de una vía es necesario realizar aforos vehiculares, donde se obtiene la cantidad de vehículos para cada categoría y luego cada grupo de vehículos se convierte a vehículos equivalentes a partir de los factores de equivalencia vehicular para homogeneizar el tránsito que circula por la vía analizada.
Cálculo de la tasa de flujo equivalente	En el cálculo de la tasa de flujo equivalente es necesaria la obtención del factor de ajuste para vehículos pesados, donde se convierten los camiones y ómnibus a vehículos equivalentes.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones parciales

- Se determinaron los factores de equivalencia vehicular para cada categoría, en las tres vías seleccionadas y para todas las vías de forma general atendiendo a la clasificación funcional que estas presenten mediante la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior.
- Los resultados obtenidos muestran variedad en los valores debido a que las calles son de un sentido de circulación, se destaca la categoría de vehículos especializados donde los factores varían debido a las diferentes velocidades con que circulan estos vehículos en cada vía.
- La comparación de los factores equivalentes obtenidos en la presente investigación con los establecidos en la NC 53-118-1984, muestra valores similares para las categorías de ómnibus y camiones, con los vehículos ligeros como la unidad equivalente. La diferencia está en que la NC 53-118-1984 solo contempla factores de equivalencia vehicular para las categorías anteriores.
- La influencia de los factores equivalentes determinados en la presente investigación en los estudios de ingeniería de tránsito, al convertir a vehículos equivalentes, es significativa con respecto a los valores de vehículos equivalentes que se obtienen usando la NC 53-118-1984.

CONCLUSIONES GENERALES

- Existen varias metodologías para la determinación de los factores de equivalencia vehicular, las cuales no incluyen un factor equivalente para vehículos como los ciclos, triciclos, motonetas y vehículos de tracción animal, los cuales son medios de transporte muy utilizados en vías de desarrollo.
- En Cuba se emplean los factores de equivalencia vehicular que recomienda la NC: 53-118-1984 la cual posee más de treinta años de elaboración y solo considera los factores de equivalencia vehicular para autos, ómnibus y camiones; lo que no coincide con la variedad de vehículos que circulan hoy en día por las calles del país.
- La metodología propuesta en la presente investigación permite determinar los factores de equivalencia vehicular adaptada a las condiciones de tránsito heterogéneas imperantes en Cuba en vías urbanas, a partir del método de la velocidad y el área proyectada y del método de los intervalos, la velocidad y el área proyectada.
- Los resultados de los factores de equivalencia vehicular obtenidos en la presente investigación difieren a los contemplados en la NC: 53-118-1984 pues en la norma cubana solo se establecen valores para ómnibus y camiones, lo que no coincide con la variedad de vehículos que circulan hoy en día por las calles del país. La influencia en estudios de ingeniería de tránsito de los nuevos factores de equivalencia vehicular es significativa con respecto a los factores de la NC: 53-118-1984 cuando se obtiene la cantidad de vehículos equivalentes.

RECOMENDACIONES

- Aplicar la metodología desarrollada en la presente investigación en otras arterias principales y vías colectoras de la ciudad de Santa Clara, así como en vías bidireccionales y multicarriles.
- Aplicar la metodología desarrollada en la presente investigación en vías de otras ciudades del país.
- Ampliar la metodología existente, para que la misma pueda ser utilizada en vías cuyas pendientes sea mayor al 3%, ya sea terreno ondulado o montañoso.
- Exponer los resultados obtenidos al Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, para que sean considerados los factores equivalentes en futuras investigaciones en las vías urbanas de la provincia.

BIBLIOGRAFÍA

- Adnan, M. (2014). Passenger car equivalent factors in heterogenous traffic environment-are we using the right numbers? *Procedia engineering*, 77, 106-113.
- Al-Kaisy, A., & Jung, Y. (2004). *Examining the effect of heavy vehicles during congestion using passenger car equivalents*. Paper presented at the Proceedings 8th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions-Loads, Roads and the Information Highway, Johannesburg, South Africa.
- Alvarez, D. C. (2008). Criterios de clasificación de las vías urbanas.
- Borges, E. (2017). Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales vías urbanas de Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara.
- Campoverde, I. S. (2017). *Modelado de tráfico vehicular en avenidas a partir de datos estadísticos*.
- Castañeda, P. (2016). Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), para la evaluación del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Santa Clara-Universidad: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara.
- Craus, J., Polus, A., & Grinberg, I. (1980). A revised method for the determination of passenger car equivalencies. *Transportation Research Part A: General*, 14(4), 241-246.
- Cunagin, W. D., & Messer, C. J. (1982). Passenger car equivalents for rural highways.
- Chandra, S., & Kumar, U. (2003). Effect of lane width on capacity under mixed traffic conditions in India. *Journal of transportation engineering*, 129(2), 155-160.
- Chandra, S., & Sikdar, P. (2000). Factors affecting PCU in mixed traffic situations on urban roads. *Road and transport research*, 9(3), 40-50.
- Demarchi, S. H., & Setti, J. R. (2003). *Limitations of PCE derivation for traffic streams with more than one truck type*. Paper presented at the TRB 2003 Annual Meeting CD ROM.
- Depestre, R. (2012). Procedimiento para la valoración de la seguridad vial en carreteras rurales de interés nacional. *Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara*.
- . Directiva 70/156/CEE y 92/61/CEE o el Real Decreto 2140/85. (1985). Sevilla.
- Galvez, L. E. (2019). DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA VEHICULAR EN ZONAS LLANAS DE CARRETERAS RURALES DE DOS CARRILES: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara.
- Hoogendoorn, S., & Knoop, V. (2013). Traffic flow theory and modelling. *The transport system and transport policy: an introduction*, 125-159.
- Hoogendoorn, S. P., & Bovy, P. H. (2001). State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 215(4), 283-303.
- Huber, M. J. (1982). *Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream (discussion and closure)*.
- Jiang, R., Jin, C.-J., H.M.Zhang, Huang, Y.-X., & Tian, J.-F. (2017). Experimental and Empirical Investigations of Traffic Flow.
- Johnson. (2004). *Texto del alumno. Ingeniería de tráfico (CIV – 326)*. Cochabamba.

- Krammes, R. A., & Crowley, K. W. (1986). Passenger car equivalents for trucks on level freeway segments. *Transportation Research Record*(1091).
- . Ley No 109 Código de Seguridad Vial en Cuba. (2010) *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. La Habana: 17 de septiembre del 2010.
- Maerivoet, S., & De Moor, B. (2005). Traffic flow theory. *arXiv preprint physics/0507126*.
- Manual de Trabajo. Ingeniería de Tránsito. Ministerio del Interior*. (2007).
- Méndez, D. (2009). Maestría en vías terrestres propedéutico: Tesis de postgrado, Utadeo) Recuperado de: [https://sjnavarro.files.utadeo](https://sjnavarro.files.utadeo....)
- . MERCOSUR/GMC/RES Nº 35/94 - ANEXO: Reglamento Armonizado. Clasificación de Vehículos. (2016).
- Montoya, G. (2005). Apuntes de ingeniería de tránsito. *Ingeniería de Tránsito*, 5, 1-34.
- . NC: 53-118-1984 Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba. (1984). Habana Vieja.
- . Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012. (2012).
- Obiri-Yeboah, A., Tuffour, Y., & Salifu, M. (2014). Passenger Car Equivalents for Vehicles at Signalized Intersections within the Kumasi Metropolis in Ghana. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*.
- Parvathy, R., Sreelatha, T., & Reebu, Z. K. (2013). Development of new PCU values and effect of length of passenger cars on PCU. *International Journal of Innovative Research in Science*.
- Peña, H. (2016). Ingeniería de Tránsito.
- Rachlis, E. (1967). Los primeros automóviles. La historia de los carruajes sin caballos desde el automóvil con cuerda de reloj de 1649, hasta el modelo "T" de Henry Ford. México: Editorial NOVARO S.A.
- Rahman, M. M., & Nakamura, F. (2005). Measuring passenger car equivalents for nonmotorized vehicle (rickshaws) at mid-block sections. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 119-126.
- Shalini, K., & Kumar, B. (2014). Estimation of the passenger car equivalent: A review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(6), 97-102.
- Spíndola, R. C. y. M. R., & Grisales, J. C. (1994). *Ingeniería de Tránsito*.
- Srikanth, S., & Mehar, A. (2017). A modified approach for estimation of Passenger Car Units on intercity divided multilane highways. *Archives of Transport*, 42.
- St John, A., & Glauz, W. D. (1976). Speeds and service on multilane upgrades. *Transportation research record*, 615, 4-9.
- Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*: CEPAL.
- Van Aerde, M., & Yagar, S. (1984). *Capacity, speed and platooning vehicle equivalents for two-lane rural highways*: TRB.
- Vasqu  ez, Y. M., & Laguardia, J. J. (2018). Estudio del flujo vehicular mediante un modelo de Lighthill-Whitham-Richards. *KnE Engineering*, 3(1), 449-457.
- Werner, A., & Morrall, J. F. (1976). Passenger car equivalencies of trucks, buses, and recreational vehicles for two-lane rural highways. *Transportation Research Record*, 615, 10-17.

- Yarce, Y. G. (2015). *Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.
- Zhao, W. (1998). *Delay-based passenger car equivalents for heavy vehicles at signalized intersections*. Paper presented at the Traffic and Transportation Studies.

ANEXOS

Anexo I: Aforo vehicular

Las siguientes tablas muestran el aforo vehicular realizado en tramos de las vías seleccionadas, en el horario de 7:30am a 8:30am, con la clasificación y el conteo de los vehículos en períodos de 15 minutos.

Tramo 1: Cale Maceo entre N^{tra} Nicolasa y Avenida 9 de abril

	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito							
	Ministerio del Interior							
MININT	Organización del Tránsito Volumen de vehículos						Hoja de campo	
Lugar: Calle Maceo				Tramo: N ^{tra} Nicolasa y Avenida 9 de abril				
Fecha: 8-5-2019				Sentido: 1 sentido				
Tiempo:1 hora				Chequeador: Ana Beatriz Martínez Cabrera				
Categorías	Cantidad de vehículos							
	7:30-7:45		7:45-8:00		8:00-8:15		8:15-8:30	
	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas
Ligeros	58		51		47		38	
Pesados	2		1		1		3	
Ómnibus	5		1				1	
Motos	50	19	71	9	60	17	52	21
Ciclos	54		43		30		44	
Equipos especializados	0		2		1		1	
Tracción animal	26		15		15		17	
Total (veh mixtos/h)	214		193		171		170	

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Tramo 2: Calle Colón entre Estrada Palma y Misionero

	Plano El Calle Colón entre Estrada Palma y Misionero								
	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito Ministerio del Interior								
MININT		Organización del Tránsito Volumen de vehículos						Hoja de campo	
Lugar: Calle Colón				Tramo: Estrada Palma-Misionero					
Fecha: 9-5-2019				Sentido: 1 sentido					
Tiempo: 1 hora				Chequeador: Ana Beatriz Martínez Cabrera					
Categorías	Cantidad de vehículos								
	7:30-7:45		7:45-8:00		8:00-8:15		8:15-8:30		
	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	
Ligeros	45		33		30		41		
Pesados	0		0		0		1		
Ómnibus	5		9		6		7		
Motos	62	36	67	31	44	42	44	34	
Ciclos	76		75		65		46		
Equipos especializados	0		0		0		0		
Tracción animal	14		12		16		16		
Total (veh mixtos/h)	238		227		203		189		

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Tramo 3: Calle Martí entre Luis Estévez y Máximo Gómez

	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito							
	Ministerio del Interior							
MININT	Organización del Tránsito Volumen de vehículos						Hoja de campo	
Lugar: Calle Martí				Tramo: Luis Estévez y Máximo Gómez				
Fecha: 17-5-2019				Sentido: 1 sentido				
Tiempo: 1 hora				Chequeador: Ana Beatriz Martínez Cabrera				
Categorías	Cantidad de vehículos							
	7:30-7:45		7:45-8:00		8:00-8:15		8:15-8:30	
	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas	2 ruedas	3 ruedas
Ligeros	60		49		59		66	
Pesados	2		2		3		3	
Ómnibus					1		5	
Motos	63	11	72	12	39	10	48	15
Ciclos	42		39		46		21	
Equipos especializados	1							
Tracción animal	1		3				2	
Total (veh mixtos/h)	180		177		158		160	

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Anexo II: Determinación de la velocidad

	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito							
	Ministerio del Interior							
MININT	Estudio de velocidad en un punto						Modelo OT-1 ^a	
Lugar: Calle Maceo				Fecha: 8-5-2019				
Entre: N ^{tra} Nicolasa-Avenida 9 de Abril				Sentido: 1 sentido				
				Chequeador: Ana Beatriz Martínez Cabrera				
Km/h	Categorías							
	Ligeros	Pesados	Ómnibus	Motos		Ciclos	Equipos especializados	Tracción Animal
				2 R	3 R			
	23	24	28	30	23	17	14	14
	26		24	23	23	9		15
	30		26	25	18	12		15
	30			26	23	11		10
	20			17	23	13		12
	25			30	26	12		12
	36			12	23	15		14
	23			26	23	12		12
	26			14				14
	26			30				
	30			23				
Total	11	1	3	11	8	8	1	9

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito							
	Ministerio del Interior							
MININT	Estudio de velocidad en un punto						Modelo OT-1 ^a	
	Cronómetro chino y radar							
Lugar: Calle Colón				Fecha: 9-5-2019				
Entre: Estrada Palma y Misionero				Sentido: 1 sentido				
				Chequeador: Ana Beatriz Martínez Cabrera				
Km/h	Categorías							
	Ligeros	Pesados	Ómnibus	Motos		Ciclos	Equipos especializados	Tracción animal
				2 R	3 R			
	30	30	30	45	36	20		14
	36		30	26	45	16		13
	60		26	30	36	16		15
	36		36	30	30	20		14
	45		30	26	30	16		
	26			36	26	12		
	36				23	11		
	45				30	13		
	36				23	17		
	45				45			
Total	10	1	5	6	10	9	0	4

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

	Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito							
	Ministerio del Interior							
MININT	Estudio de velocidad en un punto						Modelo OT-1 ^a	
	Cronómetro chino y radar							
Lugar: Calle Martí				Fecha: 17-5-2019				
Entre: Luis Estévez y Máximo Gómez				Sentido: 1 sentido				
				Chequeador: Ana Beatriz Martínez Cabrera				
Km/h	Categorías							
	Ligeros	Pesados	Ómnibus	Motos		Ciclos	Equipos especializados	Tracción Animal
				2 R	3 R			
	30	26	26	23	23	23	18	17
	45	23	30	30	26	17		16
	36	30		30	30	23		
	36	26		36	26	14		
	36			30	36	17		
	30			36	26	23		
	36			36	36	14		
	26			36	36	18		
	30			36	26	14		
	30			23	30	18		
	30			36		16		
	45			26		16		
	30			23				
	36			26				
	36			20				
	30			36				
	45			26				
36			36					
36								
Total	19	4	2	18	10	12	1	2

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Anexo III: Medición de los intervalos

Estudio de intervalo en la Calle Maceo								
CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO								
MINISTERIO DEL INTERIOR								
ESTUDIO DE INTERVALO EN UN PUNTO								
LUGAR:					FECHA: 8-5-2019			
SENTIDO: 1 sentido de circulación					EQUIPO USADO: cámara de video			
INTERVALO PARA CADA CATEGORÍA (seg)								
	CICLOS	MOTOS		LIGEROS	PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL
		DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS					
1	2,67	2,19	2,30	3,23	3,85	4,36	3,74	2,67
2	2,87	2,22	2,30	3,23				2,67
3	2,76	2,21	2,32	3,23				2,67
4	2,80	2,21	2,30	3,23				2,70
5	2,74	2,25	2,30	3,23				2,68
6	2,76	2,19	2,28	3,23				2,68
7	2,70	2,31	2,30	3,23				2,67
8	2,76	2,21	2,30	3,23				2,68
9	2,89	2,28	3,00	3,23				2,67
10	2,89	2,19	3,00	3,23				4,50
11	2,89	2,22	3,00	3,23				4,50
12	2,89	1,65	3,00					4,50
13	2,89	1,65	3,00					4,50
14	2,89	1,65	3,00					4,50
15	2,89	1,65	3,00					4,50
16	2,89	1,65	3,00					4,50
17		1,65						4,50
18		1,65						4,50
19		1,65						
20		1,65						
21		1,65						
22		1,65						

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Estudio de intervalo en la Calle Colón								
CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO								
MINISTERIO DEL INTERIOR								
ESTUDIO DE INTERVALO EN UN PUNTO								
LUGAR:					FECHA: 9-5-2019			
SENTIDO: 1 sentido de circulación					EQUIPO USADO: cámara de video			
INTERVALO PARA CADA CATEGORÍA (seg)								
	CICLOS	MOTOS		LIGEROS	PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL
		DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS					
1	2,20	2,32	2,56	2,63		2,34		1,79
2	2,24	2,35	2,55	2,63		2,38		1,81
3	2,24	2,34	2,56	2,63		2,36		1,80
4	2,20	2,34	2,57	2,63		2,40		1,79
5	2,24	2,35	2,57	2,63		2,38		1,72
6	2,32	2,33	2,59	2,63		2,99		1,73
7	2,36	2,83	2,60	2,63		3,00		1,73
8	2,30	2,83	2,57	2,63		3,00		1,72
9	2,23	2,83	2,60	2,63		3,00		
10	3,58	2,83	2,55	2,63		3,00		
11	3,57	2,83	2,31					
12	3,57		2,31					
13	3,58		2,31					
14	3,57		2,31					
15	3,57		2,31					
16	3,57		2,30					
17	3,57		2,30					
18	3,57		2,31					
19			2,30					
20			2,31					

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Estudio de intervalo en la Calle Martí								
CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO								
MINISTERIO DEL INTERIOR								
ESTUDIO DE INTERVALO EN UN PUNTO								
LUGAR:					FECHA: 17-5-2019			
SENTIDO: 1 sentido de circulación					EQUIPO USADO: cámara de video			
INTERVALO PARA CADA CATEGORÍA (seg)								
	CICLOS	MOTOS		LIGEROS	PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL
		DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS					
1	2,57	2,33	3,21	2,65	4,10	3,86	2,78	3,15
2	2,62	2,41	3,19	2,66	4,09	3,87		3,14
3	2,57	2,41	3,18	2,65	4,13	5,04		
4	2,67	2,44	3,19	2,65	4,10	4,95		
5	2,61	2,41	3,17	2,65				
6	2,57	2,44	3,21	2,65				
7	2,67	2,44	3,17	2,65				
8	2,61	2,44	3,17	2,65				
9	2,67	2,44	3,21	2,65				
10	2,61	2,33	3,19	2,65				
11	2,64	2,44	2,66	2,65				
12	2,64	2,37	2,66	2,66				
13	3,14	2,33	2,66	2,65				
14	3,14	2,37	2,66	2,65				
15	3,14	2,28	2,66	2,65				
16	3,14	2,44	2,66	2,65				
17	3,14	2,37	2,66	2,66				
18	3,14	2,44	2,66	2,65				
19	3,14	2,93	2,66	2,66				
20	3,14	2,93	2,66					
21	3,14	2,93	2,66					
22	3,14	2,93						
23	3,14	2,93						
24	3,14	2,93						
25	3,14	2,93						
26		2,39						
27		2,93						
28		2,93						
29		2,93						
30		2,93						
31		2,93						
32		2,93						
33		2,93						
34		2,93						
35		2,93						
36		2,93						

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Anexo IV: Determinación de la muestra

Este anexo consiste en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel, donde se calcula la cantidad de muestras para cada categoría vehicular, en cada una de las vías seleccionadas.

Anexo V: Determinación de los factores de equivalencia vehicular

Es una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel, donde se determinan los factores equivalentes para cada categoría vehicular, en cada una de las vías seleccionadas en función de la cantidad de muestras obtenidas.

Anexo VI: Comprobación de los factores

Este anexo es el programa *Statgraphics* aplicado a cada una de las vías para comprobar la no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos.