

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.

Autor: Lilianna Sánchez Yera

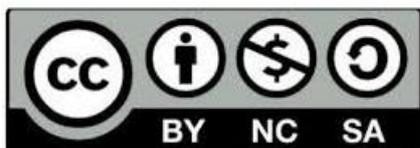
Tutor del trabajo: Ing. Luis Enrique Gálvez Herrera

Santa Clara , junio, 2018.
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

PENSAMIENTO

*“El verdadero sentido del deber no está en hacer lo que uno quiere, sino,
en querer lo que uno hace”.*

DEDICATORIA

A mis queridos abuelos que han sido mi gran apoyo.

A mi madre, porque sin ella no habría sido posible llegar hasta aquí.

A mi hermano, por hacerme reír en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por el apoyo y la atención que me han dedicado durante mi vida de estudiante.

A mis abuelos, a mi madre y a mi hermano, por todo el amor, esfuerzo, educación y preocupación incondicional que me han brindado en todos estos años.

A mi pareja Dayan por tantos años de apoyo incondicional a mi lado.

A mis amigos por todos los momentos malos y buenos que hemos pasado juntos, porque siempre estuvieron presentes en los momentos más difíciles y me ayudaron a levantarme cuando lo necesité, sé que en ellos tengo un gran apoyo.

A mi tutor, por sus consejos durante la confección del presente trabajo de diploma.

A mis profesores en general por estos años de educación.

RESUMEN

En Cuba existe una gran variedad de vehículos que circulan por la red vial, por lo que el tráfico es heterogéneo, esto trae como consecuencia que los estudios de ingeniería de tránsito sean más complejos. El presente trabajo de diploma tiene como finalidad determinar los factores de equivalencia vehicular en una de las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara, para lograr la homogeneización del tránsito. Luego de la revisión bibliográfica a nivel internacional y nacional sobre los factores equivalentes para los diferentes tipos de vehículos, se plantea una metodología para la determinación de los factores equivalentes, a partir de la clasificación vehicular propuesta por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara. Como resultados se obtienen los factores para la carretera seleccionada y se establecen diferencias y similitudes con los valores indicados en la NC: 53-118-1984 donde se demuestra la influencia de los nuevos factores en los estudios de ingeniería del tránsito.

Palabras claves: Vehículos, factores equivalentes, carreteras rurales, tránsito.

ABSTRACT

In Cuba there are a great variety of vehicles that circulate in the road network, which is the equivalent to say that traffic is heterogeneous, as a result traffic engineering studies are more complex. The purpose of this diploma work is to determine the factors of vehicular equivalency in one of the main rural roads of two lanes that access to the city of Santa Clara, to achieve the homogenization of traffic. After the international and national bibliographic review on the equivalent factors for the different types of vehicles, a methodology is proposed for the determination of the equivalent factors according to the method based on the speed and the projected area of the vehicles, flow rate and density, speed and the projected area and intervals of the vehicles starting from the vehicle classification proposed by the Provincial Center of Traffic Engineering in Villa Clara. As results, the factors for the selected road are obtained and for all two-lane rural roads that access Santa Clara, differences and similarities are established with the values indicated in NC: 53-118-1984 and the transit's influence of the new factors in the engineering studies is demonstrated.

Keywords: Vehicles, equivalent factors, rural roads, transit.

ÍNDICE

PENSAMIENTO.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA VEHICULAR EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO.	7
1.1 Clasificación de las carreteras rurales.....	7
1.2 Características y tipos de vehículos.....	10
1.3 .Flujo vehicular.....	15
1.4 Coeficientes de equivalencia vehicular	18
1.5 Métodos para determinar los factores de equivalencia vehicular	22
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES EQUIVALENTES	30
2.1 Generalidades de la metodología para la determinación de los factores equivalentes	30
2.2 Clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad	30
2.3 Selección de la carretera rural de dos carriles que acceden a la ciudad	32
2.4 Agrupación de vehículos por categorías	33
2.5 Selección del tamaño de la muestra	33
2.6 Aforo vehicular durante la hora pico.....	33
2.7 Determinación del intervalo de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.	38
2.8 Determinación de la velocidad de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.	40
2.9 Determinación de los factores equivalentes para cada categoría vehicular ...	42
2.10 Análisis de los resultados obtenidos	45
CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	47
3.1 Clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.....	47
3.2 Selección de la carretera rural de dos carriles que accede a la ciudad de Santa Clara.....	48
3.3 Agrupación de los vehículos por categorías.....	49
3,4 Realización de los aforos vehiculares	49

3.5 Selección de la cantidad de vehículos para cada categoría para la determinación de los factores equivalentes.....	50
3.6 Determinación de la velocidad de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.	50
3.7 Determinación del intervalo de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.	51
3.8 Determinación de las dimensiones de las diferentes categorías de vehículos.	52
3.8 Determinación de los factores equivalentes para cada categoría vehicular ...	54
3.9 Análisis de los resultados.....	60
CONCLUSIONES GENERALES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	71
Anexo 1: Aforos vehiculares	71
Anexo 2: Estudio de velocidad.....	73
Anexo 3: Estudio de intervalo	74
Anexo 4: Determinación de la muestra	75
Anexo 5: Determinación de los factores equivalentes	75
Anexo 6: Ficheros del programa Statgraphics	75

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, la construcción de caminos ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada. Cuando las ciudades de las primeras civilizaciones empezaron a aumentar de tamaño y densidad de población, la comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores. El tráfico, las exigencias de los usuarios, los vehículos, así como el entorno de la carretera evolucionaron por lo que se originó la necesidad de superficies más lisas que alojasen el incipiente tránsito. Una de las principales impulsoras de la evolución de las carreteras fue la civilización romana, dejando hasta hoy (y aun en buenas condiciones) una vasta red de carreteras (Ramos, 2007).

El desarrollo del transporte terrestre fue lento. Durante siglos los medios tradicionales de transporte, restringidos a montar sobre animales, carros y trineos tirados por animales (carruajes, diligencias), raramente excedían de un promedio de 16km/h. (Alva, 2010). El primer vehículo autopropulsado del que se tiene conocimiento fidedigno es el Fardier construido en 1784 por el francés Nicolás José Cugnot movido por la fuerza generada en una caldera de vapor que portaba (Ramírez, 2004)

Los progresos de la ciencia y de la técnica condujeron, en el siglo XIX, a la invención del automóvil de combustión interna. Las primeras invenciones de motores de combustión interna, surgen como necesidad de sustituir los motores a vapor que eran peligrosos, voluminosos, ruidosos y de poca potencia. El motor de combustión interna hizo posible que el hombre pudiera viajar sobre ruedas en forma rápida y económica (Alva, 2010). A pesar que las últimas décadas del siglo XIX ven la aparición del automóvil, puede afirmarse que el vehículo de motor de combustión interna en la forma que se conoce actualmente, nació con el siglo XX (Spindola & Grisales, 1994). Los cambios fundamentales que ha sufrido el automóvil son relacionados con la potencia, velocidad y comodidad, salvo el diseño, sigue siendo básicamente el mismo vehículo en sus principios mecánicos y de automoción. (Ramírez, 2004).

La última década del siglo XX trajo consigo un fuerte incremento de la cantidad de automóviles en circulación en América Latina, así como de su uso para los más variados propósitos (Thomson & Bull, 2002). Cuba presenta al igual que América Latina un incremento del parque vehicular generando una gran diversidad en la circulación por lo que se puede afirmar que el tránsito es predominantemente heterogéneo con una amplia variación en las características dinámicas. La variedad de los vehículos se manifiesta según su geometría y la función que cumple en la sociedad lo que conlleva a nuevos

estudios de tránsito y para estos estudios es imprescindible llevar cada vehículo a una misma unidad de referencia para su posterior análisis.

El término "automóvil equivalente" se introdujo 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). El Manual de Capacidad de Carreteras del 2010 define al automóvil equivalente como un factor imprescindible en los estudios de ingeniería de tránsito, el cual es utilizado para transformar volúmenes de tráfico que contienen una proporción de vehículos pesados en un valor unificado que posee solamente unidades de automóviles (HCM, 2010.). Es preciso destacar que el tipo de vía, ya sea rural o urbana, influye en la determinación de los factores equivalentes, dadas sus diferencias en las características geométricas y en los volúmenes de tránsito que son capaces de almacenar (Marín, 2015). En Cuba la mayoría de las carreteras rurales de dos carriles fueron construidas antes del triunfo de la revolución en enero de 1959, por lo que estas se diseñaron para un flujo vehicular inferior al que están sometidas en la actualidad. (Castañeda, 2016).

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 análisis realizados en sus países no contemplan vehículos como los ciclos, triciclos, motonetas y vehículos de tracción animal lo que provoca una no existencia de un coeficiente de equivalencia vehicular para estos medios de transporte tan utilizados en países en vías de desarrollo.

Según la Ley 109 Código de Seguridad Vial los vehículos en Cuba se clasifican de forma general en vehículos ligeros (autos, microbús, jeeps, paneles y camionetas) y vehículos pesados (camiones, remolque, semirremolque, arrastre y cuña de tracción), además de los ómnibus, solo destinados al transporte de personas, existen otras clasificaciones como ciclos, motos y equipos especializados para labores constructivas y agrícolas (tractores y vehículos de construcción) y vehículos de tracción animal. (Chávez & Depestre, 2017).

Según datos ofrecidos por el Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara, esta provincia cuenta con un parque vehicular compuesto por 41 306 vehículos, divididos en 17 211 pertenecientes al sector estatal y 24 095 al sector privado. Se ubica

como la tercera provincia con mayor cantidad de vehículos en el país, lo que representa el 6,5% del total nacional (Curbelo & Depestre, 2017)

Los factores empleados en Cuba son los que recomiendan 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, las condiciones de la carretera y las características topográficas. Los valores de esta norma fueron determinados para los contextos del tránsito de los Estados Unidos, las que difieren de las condiciones cubanas, por lo que la norma no se encuentra actualizada y es necesaria la determinación de nuevos factores equivalentes para los vehículos que circulan en la actualidad en Cuba. Además, es importante agregar que dicha norma posee más de treinta años de conformada y solo considera los coeficientes de equivalencia vehicular para autos, ómnibus y camiones; lo que no coincide con la variedad de vehículos que circulan hoy en día por las carreteras de Cuba.

La presente investigación va dirigida a la determinación de los factores de equivalencia para los vehículos que circulan en la actualidad en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara y en este caso se toman los vehículos ligeros como la unidad de referencia.

A partir de la necesidad de la presente investigación para los estudios de ingeniería de tránsito en Cuba, y tomando como referencia investigaciones precedentes que han demostrado que los valores obtenidos difieren de los planteados en la NC: 53-118-1984 ya que es necesaria su actualización para la determinación de los factores de equivalencia vehicular se plantea el siguiente **problema científico**: ¿En qué medida los factores de equivalencia vehicular determinados para los vehículos que circulan en la actualidad en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara, varían con respecto a los contemplados en la NC: 53-118-1984 y cómo influyen en los estudios de ingeniería de tránsito?

El **objeto de estudio** de la investigación son los factores de equivalencia vehicular y el **campo de estudio** son las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.

Objetivo general:

- Determinar los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara, aplicando varias metodologías de cálculo.

Objetivos específicos:

1. Efectuar una revisión bibliográfica, relacionada con los factores de equivalencia vehicular en el tránsito.
2. Definir una metodología de trabajo, para la determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.
3. Analizar los resultados obtenidos, mediante la comparación de los nuevos factores equivalentes con los existentes en la NC: 53-118-1984 y su incidencia en los estudios de ingeniería de tránsito.

Atendiendo al problema antes planteado se considera la siguiente **hipótesis**: La determinación de los factores de equivalencia para los vehículos que circulan en la actualidad en las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara, influye en los estudios de ingeniería de tránsito.

Tareas científicas

1. Búsqueda, revisión y análisis de la bibliografía y planteamiento del problema científico de la investigación.
2. Selección de una de las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a Santa Clara, para su utilización de muestra en la investigación.
3. Realización de aforos vehiculares en los horarios de máxima demanda en la carretera seleccionada.
4. Ejecución de los estudios de velocidad e intervalos entre vehículos en la carretera seleccionada.
5. Cálculo de los factores equivalentes por los métodos a utilizar en la presente investigación.
6. Análisis de los resultados, a través de la comparación de los factores equivalentes obtenidos con los existentes en la NC: 53-118-1984 y su incidencia en los estudios de ingeniería de tránsito.
7. Confección del trabajo final y defensa del mismo.

La **novedad científica** del presente estudio está en la determinación de los factores de equivalencia vehicular en la vía rural de dos carriles 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 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** de la investigación radica en que está destinada a la determinación de factores de equivalencia vehicular en vías rurales de dos carriles, dado que estos son fundamentales para el cálculo de capacidad o de nivel de servicio y otras determinaciones necesarias en los análisis del tránsito. Los factores equivalentes son los encargados de homogeneizar los diferentes vehículos en trabajos que involucren volúmenes de tránsito. El presente trabajo de diploma sirve como antecedente para nuevos estudios en carreteras rurales de dos carriles en Cuba y los resultados obtenidos se trasladan al Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara para futuras investigaciones en la provincia.

Durante la investigación se utilizan diferentes **métodos**, seleccionados y aplicados sobre la base del método materialista dialéctico, algunos de estos métodos son:

Métodos teóricos:

- Inductivo - deductivo, se irá de lo universal, el estudio de factores de equivalencia vehicular en las carreteras rurales de dos carriles, a lo particular, la aplicación en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a 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 carreteras rurales de dos carriles 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 equivalentes 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 carreteras rurales de dos carriles.

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 intervalo 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

En este capítulo se realiza una 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 carreteras rurales, los diferentes tipos de vehículos, los factores equivalentes utilizados en estudios de tránsito y los métodos que se aplican para la determinación de los factores de equivalencia vehicular.

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 carreteras rurales de dos carriles que acceden a 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.

En el presente capítulo se desarrollan cada uno de los puntos establecidos por la metodología expuesta 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 la 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.
- Anexos.

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

En este capítulo se realiza una 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 carreteras rurales, los diferentes tipos de vehículos, los modelos del flujo vehicular, los factores equivalentes utilizados en estudios de tránsito y los diferentes métodos que se aplican para la determinación de los factores equivalentes.

1.1 Clasificación de las carreteras rurales.

Se entiende por camino, aquella faja de terreno acondicionada para la circulación de vehículos automóviles. La denominación de camino incluye a nivel rural las carreteras y a nivel urbano las calles de la ciudad (Spíndola & Grisales, 1994). Algunos acostumbran denominar caminos a las vías rurales, mientras que el nombre de carreteras se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos. (Castelán, 2005) También las carreteras se pueden agrupar según la clasificación funcional y técnica.

Las carreteras rurales, en dependencia de cada país, generalmente son aquellas que permiten el tránsito de vehículos entre ciudades, pueblos y regiones económicas, siempre fuera de los límites de las urbanizaciones. A continuación se presentan algunas clasificaciones de carreteras rurales en países de América de acuerdo a la clasificación funcional ilustradas en las tablas 1.1, 1.2, 1.3.

Tabla 1.1. Clasificación funcional de carreteras rurales en Colombia

Clasificación	Descripción
Primarias	Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países.
Secundarias	Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria.
Terciarias	Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Fuente: (“Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional en Colombia”, Resolución 0744, 4 de marzo , 2009)

Tabla 1.2. Clasificación funcional de carreteras rurales en Perú

Clasificación	Descripción
Red Vial Primaria o Red Vial Nacional	Está conformada por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras
Red Vial Secundaria o Red Vial Departamental	Está constituida por la red vial circunscrita principalmente en la zona de un departamento, división política de la nación o en zonas de influencia económica, estas constituyen redes troncales departamentales
Red Vial Terciaria o Red Vecinal	Está compuesta por caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones.

Fuente: (Según el manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG 2001) aprobado por el MTC)

Tabla 1.3 .Clasificación funcional de carreteras rurales en Chile

Clasificación	Descripción
Caminos internacionales	Son los que unen directamente un camino nacional, con un pase fronterizo terminal de un país limítrofe.
Caminos nacionales de primera clase	Son los que unen directamente entre sí capitales de provincia y todas las vías fluviales navegables por embarcaciones de más de 50 toneladas de registro.
Caminos nacionales de segunda clase	Son los que unen las capitales de provincia a los puertos de navegación y los puertos habilitados de cordillera de primera clase, y todas las vías fluviales navegables por embarcaciones de menos de 50 toneladas de registro y flotables por balsas o deslizadores.
Caminos regionales	Son los que no quedan comprendidos en la clasificación anterior.

Fuente: (Ley General de Caminos número 4,851, del 11 de Marzo de 1930 de Chile)

En Cuba, según la NC 753:2010 (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional) una vía rural está compuesta por carreteras y caminos para fines de tránsito de vehículos y peatones, incluyendo el área dentro de la faja de emplazamiento, encontrándose por lo general, fuera de los perímetros urbanos. A partir de la NC 753:2010 las vías rurales, según la función que realizan se clasifican en:

- Vías expresas: Carreteras arteriales multicarriles divididas en dos sentidos de circulación. Proporcionan una vinculación directa entre la capital del país y el resto de las capitales provinciales.
- Arterias principales: Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación y al igual que las vías expresas proporcionan una vinculación directa entre la capital del país y el resto de las capitales provinciales.
- Arterias menores: Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación, sin control de accesos y sirven directamente a los terrenos colindantes. Dentro del sistema arterial, son las vías de menos intensidades de tránsito. Sirven al movimiento de tránsito entre dos y más provincias.

- **Colectoras:** Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación. Generalmente prestan servicios a los viajes intermunicipales y en ocasiones a los interprovinciales.
- **Locales:** Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación. Constituyen una red ramificada, pero más bien de importancia en el municipio o localidad.

La clasificación funcional agrupa a carreteras de acuerdo al carácter del servicio que deben proveer. Esta clasificación nos permite determinar el nivel de importancia de carreteras y calles además de agruparlas de acuerdo al mismo grado de interés y los mismos estándares. Para la investigación se consultaron otras bibliografías sobre las clasificaciones de carreteras a nivel internacional como por ejemplo la clasificación de carreteras de Uruguay y Nicaragua donde se observan varias similitudes con las clasificaciones expuestas anteriormente en las tablas 1.1 ,1.2 ,1.3 las cuales, no difieren de las utilizadas en nuestro país según la NC 753:2010 (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional).

A continuación se presentan algunas clasificaciones de carreteras rurales en países de América de acuerdo a la clasificación técnica ilustradas en las tablas 1.4.

Tabla 1.4 .Clasificación técnica de carreteras rurales en México

Clasificación	Descripción
Tipo A:	Para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).
Tipo B	Para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de T.P.D.)
Tipo C	Para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.)

Fuente: (Castelán, 2005).

La NC: 853-2012 (Carreteras rurales. Caracterización técnica y característica geométrica del trazado directo) plantea que la categorización técnica de las carreteras se realiza en función de estudios técnicos–económicos, que comprende intensidad de tránsito, tipo de terreno y destino funcional. En función de la intensidad de tránsito las carreteras se dividen en las siguientes categorías técnicas ilustradas en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 .Clasificación técnica de las vías rurales

Categoría Técnica	Intensidad del tránsito (PAVDT) vehículos/días
Vías expresas rurales	Mayor que 8000
I	De 4000 a 8000
II	De 2000 a 4000
III	De 750 a 2000
IV	Menor que 750

Fuente: (853-2012 (Carreteras rurales. Caracterización técnica y características geométricas del trazado directo))

La clasificación técnica agrupa a carreteras en función de estudios técnicos–económicos de cada región o país. Esta clasificación nos permite distinguir de manera precisa las características de la vía tomando en cuenta los volúmenes de tránsito y especificaciones geométricas .Después de consultar otras fuentes bibliográficas sobre las clasificaciones técnicas de carreteras a nivel internacional se puede apreciar que existen varias similitudes con las utilizadas en la actualidad en nuestro país según la NC: 853-2012 (Carreteras rurales. Caracterización técnica y característica geométrica del trazado directo).

1.2 Características y tipos de vehículos.

Cada país clasifica los vehículos según las características y disposiciones del Ministerio del Transporte. La mayoría de las clasificaciones dependen de la cantidad de ruedas que posee el vehículo y la función que cumplen en la sociedad, ya sea para el transporte de pasajeros o para el transporte de mercancías y combinaciones especiales para actividades específicas. Algunos ejemplos de estas clasificaciones se aprecian en las tablas 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9.

Tabla 1.6. 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).

Aunque la clasificación dada por MERCOSUR en la tabla 1.6 incluye a los países de Ecuador y Bolivia, estos muestran particularidades en la clasificación vehicular, las que se muestran a continuación:

- La categoría M, en Ecuador incluye solo los vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y construidos para el transporte de pasajeros, mientras que la clasificación según MERCOSUR, los vehículo de categoría M 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.

En las tablas 1.7 y 1.8 se presentan las clasificaciones en Ecuador y Bolivia.

Tabla 1.7. 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 construidos para el transporte de pasajeros.
Categoría N	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y construidos 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 1.8. 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).

La tabla 1.9 muestra la clasificación en España, donde se destaca la presencia de dos categorías L, que incluyen los vehículos de motor de menos de cuatro ruedas y los cuadríciclos. Además, en la clasificación se destaca 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 1.9. 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 cuadríciclos, 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 construidos 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 cuadríciclos	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, tracto-carro, 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").

Cuba presenta un parque vehicular muy variado donde se mezclan vehículos de tres generaciones, en algunos casos con más de 60 años de explotación como los autos de fabricación americana y vehículos modernos importados de países desarrollados, lo que provoca diferencias significativas en las velocidades entre los distintos tipos de vehículos, que afectan la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras. Dados los cambios en el tránsito cubano, por la recuperación y modernización del transporte, el crecimiento de la circulación de vehículos y peatones en las vías, en el año 2010 se aprueba por la Asamblea Nacional de Poder Popular, la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, la clasificación vehicular según esta ley se muestra en la tabla 1.10.

Tabla 1.10. 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.
Ciclo	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 una descripción detallada de sus características fundamentales, además que se destacan los vehículos de tracción animal, que no son incorporados en la clasificación vehicular de los países analizados anteriormente.

Cuba referencia un incremento del parque automotor con el transcurso de los años como consecuencia del desarrollo automovilístico a nivel mundial en los últimos 30 años, factor que se muestra reflejado en la provincia de Villa Clara como la tercera de mayor parque vehicular del país, con 41 306 vehículos lo que representa un 6,5% del total general, valor que solo es superado por la provincia de La Habana con 203 353 vehículos y Matanzas con 54 752 vehículos, representando el 32% y el 8.3% respectivamente del total general de vehículos del país.

Según datos del Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara, el parque vehicular está constituido en su gran mayoría por motos, representados con 17 401

unidades, lo que representa el 42,1% del total del parque general de vehículos que presenta actualmente la provincia. La figura 1.1 muestra la cantidad de vehículos para cada una de las clasificaciones vehiculares.

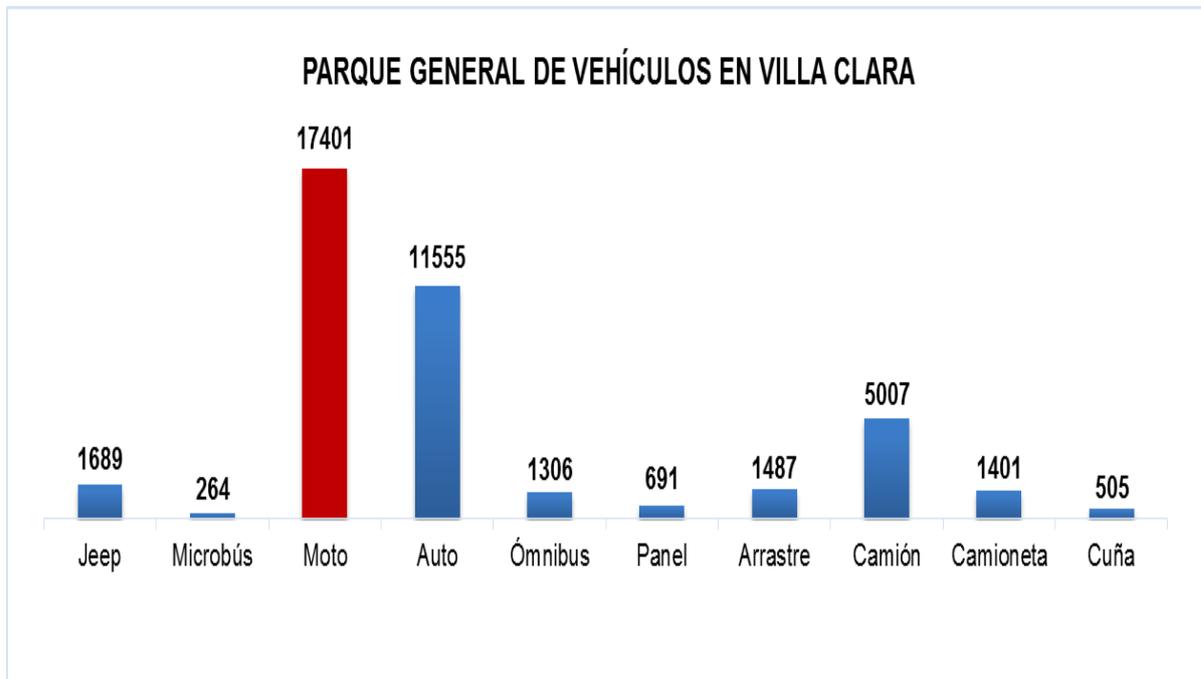


Figura 1.1 Parque general de vehículos en Villa Clara
Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

El Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara agrupa las categorías de vehículos mencionadas anteriormente en función del peso de los vehículos y otras consideraciones en cuanto a la geometría y a la función que realizan, para los diferentes estudios de tránsito que en este centro se ejecutan. La tabla 1.11 muestra estas categorías

Tabla 1.11. Categorías según el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Categoría	Vehículos que incluye
Ligeros	Autos, microbús (menos de 16 asientos), jeeps, paneles y camionetas.
Pesados	Camiones, arrastres, cuñas, remolques y semirremolques.
Ómnibus	(Más de 16 asientos)
Motos	Ciclomotores y motorinas.
Ciclos	Bicicletas y triciclos.
Equipos especializados	Tractores y equipos de la construcción (grúas, cargadores, etc.)
Vehículos de tracción animal	(Vehículos arrastrados o tirados por animales)

Fuente: Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

En la figura 1.2 se agrupa las categorías anteriores mencionadas en la tabla 1.1 empleadas por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito y la cantidad

correspondiente a la provincia de Villa Clara .Se aprecia que aun con la recopilación de todos los vehículos que integran los vehículos ligeros y pesados ilustrados de forma individual en la figura 1.1 la categoría de motos sigue siendo la mayor cantidad.

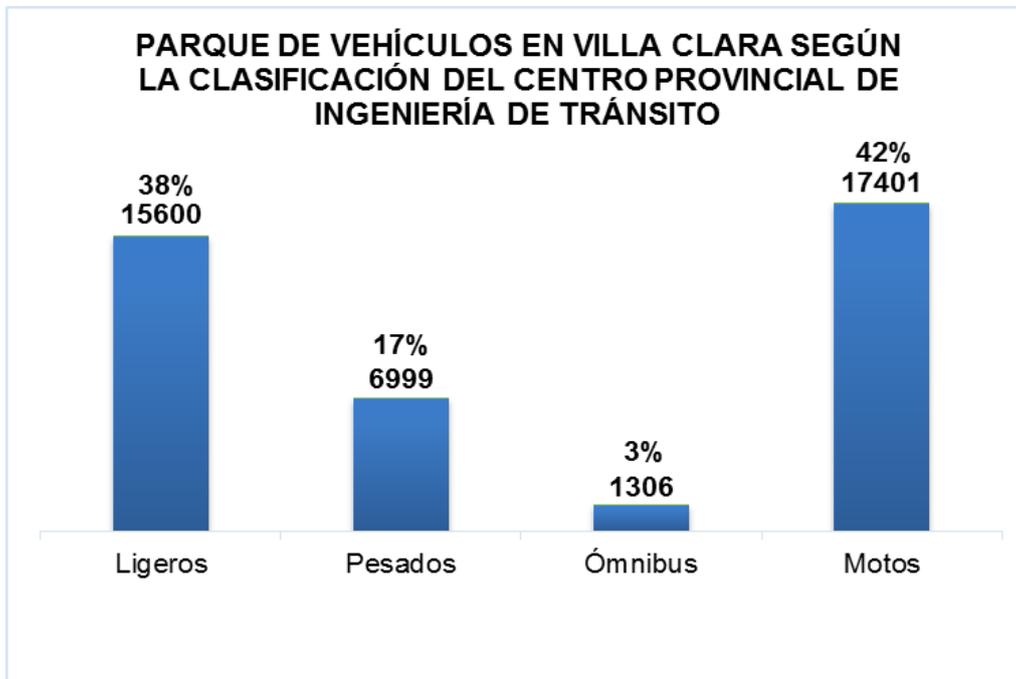


Figura 1.2 Parque de vehículos en Villa Clara según la clasificación del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

1.3 .Flujo vehicular

Con la aplicación de las leyes de la física y las matemáticas, el análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de funcionalidad (Spindola & Grisales, 1994).

Las investigaciones sobre el flujo vehicular comenzaron hace aproximadamente cuarenta años cuando Lighthill y Whitham (1955) presentaron un modelo basado en la analogía que existía entre la circulación de los vehículos en el tráfico y el movimiento de las partículas en un fluido. Existen varios modelos que permiten describir los disímiles aspectos de las operaciones del flujo vehicular. Estos modelos se dividen en dos grandes grupos, microscópicos y macroscópicos.

1.3.1 Características microscópicas del flujo vehicular

Los modelos microscópicos analizan el comportamiento espacial y temporal de un conductor bajo la influencia de otros vehículos en su cercanía. (Hoogendoorn & Bovy, 2000). Para determinar las variables que intervienen en los modelos microscópicos primeramente se deben considerar dos vehículos consecutivos que circulan por el mismo carril. A su vez estos modelos presentan características espaciales y temporales.

Los parámetros espaciales definen a la separación como la distancia que existe entre el vehículo líder y el vehículo que lo sigue; el espaciamiento es la distancia existente entre la parte trasera del vehículo líder y la defensa trasera del vehículo que lo sigue, es importante mencionar que estos parámetros microscópicos espaciales se expresan en metros.

Los parámetros temporales que caracterizan el flujo vehicular son el paso, la brecha o claro y el intervalo, es importante destacar que estos atributos asociados al tiempo se expresan en segundos. (Spindola & Grisales, 1994). Como definición el paso es el tiempo 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 La figura 1.3 muestra los parámetros temporales y espaciales descritos anteriormente.



Figura 1.3 Parámetros temporales que caracterizan a los modelos microscópicos
Fuente: Elaboración propia.

1.3.2 Características macroscópicas del flujo vehicular

Los modelos macroscópicos analizan el comportamiento espacial y temporal del flujo vehicular en su conjunto (Hoogendoorn & Bovy, 2000).

Para analizar las características macroscópicas del flujo vehicular Maerivoet y Moor, 2008 realizan un diagrama espacio-tiempo donde definen tres regiones de análisis: R_t , R_s y R_{ts} , representado en la figura 1.4. 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.

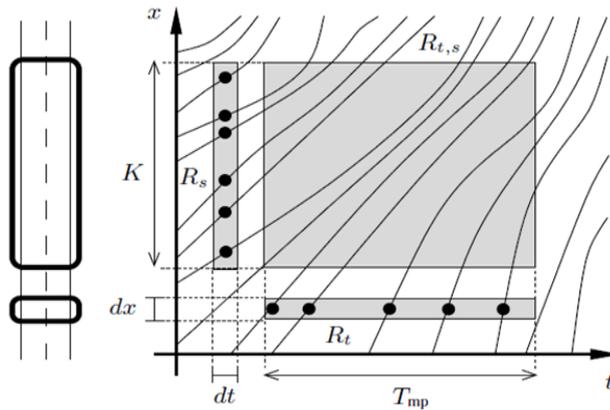


Figura 1.4 Diagrama espacio-tiempo

Fuente: Maerivoet y Moor, 2008

Utilizando estas tres regiones de análisis se pueden obtener las variables macroscópicas temporales y espaciales que caracterizan el flujo del tráfico.

(Hogendoorn & Knoop, 2010), 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 fórmula 1.1.

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

Donde

q : flujo vehicular

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

K =densidad (veh/km/carril)

A su vez el análisis del flujo vehicular presenta varios modelos fundamentales:

1.3.3 Modelo lineal

B.D.Greenshields llevo a cabo una de las primeras investigaciones sobre el comportamiento del flujo vehicular, en la cual estudio la relación existente entre la velocidad y la densidad, donde llega al modelo lineal siguiente:

$$\bar{v}_e = Vl - \left(\frac{Vl}{Kc}\right) k(1.2)$$

Donde

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

K =densidad (veh/km/carril)

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

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

1.3.4 Modelo no lineal

Investigaciones han llegado a la conclusión de que no siempre existe una buena correlación lineal entre la velocidad y la densidad. En estos casos se logra un mejor

ajuste mediante otros modelos como el modelo logarítmico apoyado en la analogía hidrodinámica donde H.Greenberg combina las ecuaciones de movimiento y continuidad de los fluidos compresibles y, al aplicarla al flujo vehicular, se obtiene las siguientes relaciones:

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

Donde:

V_m: velocidad de marcha

K_c: densidad de automóviles.

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

Donde:

q: flujo vehicular

V_m: velocidad de marcha

K_c: densidad de automóviles.

q: tasa de flujo

K = densidad (veh/km/carril)

Este modelo proporciona buenos ajustes especialmente en flujos congestionados aunque no funciona muy bien a bajas densidades.

1.4 Coeficientes de equivalencia vehicular

El término coeficiente de equivalencia vehicular fue introducido por primera vez en el Manual de Capacidad de Carretera (HCM) de 1965, con el objetivo de explicar el efecto de los camiones y ómnibus en el flujo del tráfico. La exactitud del valor de nivel de servicio determinado en un tramo de una carretera depende en gran medida del valor del coeficiente de equivalencia vehicular utilizado (Srikanth & Mehar, 2016)

En los países de Europa Occidental y en los Estados Unidos los coeficientes de equivalencia vehicular determinados corresponden a un tráfico homogéneo, debido a que por sus carreteras y autopistas circulan fundamentalmente automóviles, camiones y ómnibus. Durante los últimos 50 años los científicos e investigadores de estos países han aplicado varios métodos en diferentes condiciones de análisis para determinar los valores de equivalencia vehicular.

(Al-Obaedi, 2016), realiza un estudio para determinar el coeficiente de equivalencia para vehículos pesados en las vías multicarriles M-25 y M-42 de Reino Unido empleando una base de datos real, la cual obtiene mediante detectores colocados en ambas vías durante un período de 14 días. Los valores obtenidos en el estudio varían entre 1,2 y 1,9, estas variaciones se deben principalmente a la velocidad de circulación por dichas carreteras, ya que a medida que la velocidad de circulación aumenta disminuye el valor del coeficiente de equivalencia vehicular.

En los países en vías de desarrollo los estudios para determinar los coeficientes de equivalencia vehicular son más complejos, ya que en estos países el tráfico imperante es extremadamente heterogéneo debido a que por las carreteras circulan una gran variedad de vehículos de disímiles tamaños y que circulan a velocidades muy desiguales.

Para la India en el año 2001, se tiene la investigación: *India Infrastructure Report* recomendada por el IRC (*Indian Roads Congress*), donde se ilustran valores de moto-equivalencia, sin embargo este reporte no explica cómo fueron evaluados o calculados dichos factores (Marín, 2015).

(Chu Cong & Kazushi, 2001), trabajó en el análisis de los efectos de la motocicleta en proporción al flujo de saturación para las intersecciones semaforizadas de los países en vía de desarrollo Tailandia y Vietnam, enfocando los estudios en las ciudades de Hanói y Bangkok, respectivamente. Se trabajó un modelo de regresión lineal para variables del flujo de saturación (tiempo de arranque, longitud recorrida hasta la línea de detención) y un modelo no lineal para comparar flujos de saturación de motocicletas y automóviles según el ancho de carril. Se obtiene el factor de equivalencia en automóviles para motocicletas (0,18 para Bangkok y 0,24 para Hanói).

En 2014 se realizó la estimación de factores equivalentes, utilizando el tráfico heterogéneo que prevalece en las arterias de la ciudad de Karachi, Pakistán (Adnan, 2014) .

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 (Montoya, 2005).

(Cabra P. , 2014) , con la investigación realizada en vías de la ciudad de Medellín, presenta como objetivo estudiar el impacto de la motocicleta en la congestión de tráfico mixto en una ciudad colombiana. El PCU m observado en flujo estable es de 0,29 y en flujo inestable es de 0,05. El PCU m observado promedio general es de 0.16.

La tabla 1.12 que a continuación se presenta muestra los valores de los factores equivalentes en diferentes países, obtenidos para un tramo de vía definido y según las características del tránsito que prevalecen en cada país. La determinación de los factores equivalentes se realiza para diferentes grupos de vehículos en cada uno de los países analizados, donde la mayoría de estos usan como unidad equivalente (el factor igual a uno) para los automóviles por ser el vehículo predominante en la circulación, mientras naciones como la India y Vietnam utilizan 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 1.12. Factores equivalentes en el mundo

Categoría	Factores equivalentes					
	India (2001)	Perú (2005)	Vietnam (2007)	Ghana (2014)	Pakistán (2014)	Indonesia (2009)
Ciclo	0,80	0,50	1,20	-	-	-
Motocicleta	1,00	1,00	1,00	-	0,25	0,30
Automóvil	2,00	1,00	4,00	1,00	1,00	1,00
Camioneta	-	-	-	-	1,50	-
Minibús	4,40	-	10,0	-	2,00	2,10
Ómnibus	8,00	3,00	12,0	-	2,50	-
Vehículo medio	-	3,00	-	1,65	-	-
Camión	-	3,00	-	3,05	3,00	3,10
Tráiler	-	-	-	-	3,00	3,10

Fuente: Elaboración propia.

En Cuba los factores equivalentes empleados son los que recomienda la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba). Los factores de equivalencia vehicular se usan para homogenizar el tránsito a estudiar, con el objetivo de relacionar en los análisis una única unidad de referencia. Estos factores se encuentran en función del nivel de servicio y del tipo de terreno, aunque dependen también de otros elementos como las características de la vía (ancho de carril, pendiente, radio de giro, superficie de rodadura, etc.), la velocidad de los vehículos, el flujo vehicular y la capacidad de la vía. Es preciso destacar que estos valores empleados en la norma cubana fueron determinados para las condiciones de los Estados Unidos que considera como vehículo unitario al automóvil.

La tabla 1.13 muestra los factores equivalentes promedio para camiones y ómnibus en carreteras de múltiples carriles en función del nivel de servicio y el tipo de terreno del tramo en estudio. En el caso de los ómnibus, los factores equivalentes deben usarse solo cuando los volúmenes sean $\geq 3\%$.

Tabla 1.13. Vehículos equivalentes promedio de pasajeros para camiones y ómnibus en carreteras de múltiples carriles

Nivel de servicio		Factor equivalente		
		Terreno a nivel	Terreno ondulado	Terreno montañoso
A		Variable, uno o más camiones tienen el mismo efecto (no existen equivalencias)		
Desde el B hasta el E	Para camiones	2	4	8
	Para ómnibus	1,6	3	5

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

La tabla 1.14 muestra los factores equivalentes promedio para camiones y ómnibus en carreteras de dos carriles en función del nivel de servicio y el tipo de terreno del tramo

en estudio. En el caso de los ómnibus, los factores equivalentes deben usarse solo cuando los volúmenes sean $\geq 3\%$.

Tabla 1.14. 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).

La comparación entre los valores de los factores equivalentes en el mundo y los contemplados en Cuba según la NC: 53-118-1984 presentan diferencias significativas. Los factores cubanos fueron determinados solo para camiones y ómnibus en dependencia del tipo de terreno, el nivel de servicio y de la cantidad de carriles que posee la carretera, mientras que en los países analizados se toman varias clasificaciones vehiculares para la determinación de los factores equivalentes, siempre en dependencia de las características del tránsito de cada país, aunque existen similitudes entre los factores equivalentes para camiones. Los valores de la norma cubana (para terrenos llanos) son similares a los determinados en el año 2014 en Pakistán, 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.

Es necesario destacar que el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, recoge en su Manual de Trabajo (2007), una serie de factores equivalentes para la conversión en vehículos tipo, dentro de las Normas de Semáforos, los que se muestran en la tabla 1.15.

Tabla 1.15. 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).

1.5 Métodos para determinar los factores de equivalencia vehicular

Los estudios para la determinación de un coeficiente que representara el efecto de los camiones y ómnibus en el flujo del tráfico se comenzaron a desarrollar a mediados del siglo XX. (Al-Kaisy, 2005), plantea que en el manual del HCM de 1950 se utiliza un factor de 2,0 para representar el impacto de los vehículos pesados en carreteras multicarriles a nivel, pero no es hasta la versión de 1965 de dicho manual que se le asigna a dicho factor el nombre de coeficiente de equivalencia vehicular; separándose el valor de dicho factor por tipo de vehículo (camiones y ómnibus).

En la segunda mitad del siglo XX numerosos autores de diversas partes del mundo han desarrollado varios métodos para determinar los coeficientes de equivalencia vehicular. Estos métodos se agrupan en varias categorías. A continuación se explican los métodos para la determinación de los factores equivalentes, los que se obtuvieron a partir del estudio *“Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review* (Shalini & Kumar, 2014)

1.5.1 Método basado en los intervalos

(Greenshields, 1947)

El primero en utilizar el método de los intervalos fue Greenshields en 1947, el cual logró determinar un coeficiente para vehículos pesados utilizando la ecuación (1,5).

$$PCU_i = \frac{H_i}{H_c} \quad (1.5)$$

Donde:

PCU: Unidad de automóvil del vehículo tipo i.

H_i: Intervalo del vehículo tipo i.

H_c: Intervalo del automóvil.

(Krammes & Crowley, 1986)

Se formula una ecuación para estimar los coeficientes de equivalencia vehicular para segmentos a nivel de autopistas. La fórmula (1.6) es obtenida realizando adecuaciones en la ecuación propuesta por Huber en 1982

$$PCE = \frac{[(1 - p) * H_{TP} + p * H_{TT}]}{H_P} \quad (1.6)$$

Donde:

PCE: Coeficiente 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.

Los métodos que utilizan el concepto de tiempo o espacio se basan en que el avance es una medida del espacio ocupado por un vehículo. Este es el método más utilizado para la determinación de factores equivalentes en intersecciones señalizadas. Los resultados obtenidos son estimados y pueden llevar a errores en los valores de los factores de equivalencia.

Las cuatro combinaciones son comparadas (auto-auto, auto-camión, camión-auto, camión-camión) y la distancia entre dos vehículos pesados es mayor y entre dos autos es menor. Cuando son comparadas a velocidades inferiores de 30 km/h, el caso auto-camión es mayor que camión-auto. La relación camión-auto es menor cuando la velocidad sobrepase los 30 km/h. El factor se calcula según la expresión (1.7).

$$PCE = \frac{[(1 - p)(h.mpt + h.mtp - h.mpp) + p * h.mtt]}{h.mtt} \quad (1.7)$$

Donde:

PCE: Factor equivalente

p: Porcentaje de camiones

h.mjk: Intervalo para las combinaciones siendo *j* el vehículo seguidor y *k* el vehículo líder

Combinaciones: auto – auto, auto – camión, camión – auto, camión – camión

p: Vehículos ligeros

t: Camiones

(Al-Obaedi, 2016)

Se realiza una investigación para determinar los coeficientes de equivalencia vehicular en la M-25 y M-42 en Reino Unido. El estudio fue desarrollado colocando cámaras en las vías antes mencionadas y detectores en cada carril; con lo cual se logró determinar la velocidad, el intervalo y la longitud de cada vehículo. El factor de equivalencia vehicular es calculado utilizando la ecuación 1.8:

$$PCE = \frac{h_t}{h_c} \quad (1.8)$$

Donde:

PCE: Coeficiente de equivalencia vehicular.

ht: intervalo promedio mantenido por los camiones.

hc: intervalo promedio mantenido por los vehículos ligeros.

1.5.2 Método basado en tasas de flujo y densidades

(Huber, 1982)

Sugiere un modelo para estimar los valores de PCE 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) denominada (q_M) y otra corriente de tráfico con autos (q_B). Los factores se determinan mediante la expresión (1.10).

$$PCE = \frac{1}{p} \left(\frac{q_b}{q_m} - 1 \right) + 1 \quad (1.10)$$

Donde:

PCE: 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: Fracción de camiones en la corriente de tráfico

Los valores de q_B y q_M son obtenidos por medio del modelo de densidad-flujo de Greenshields (figura 1.5)

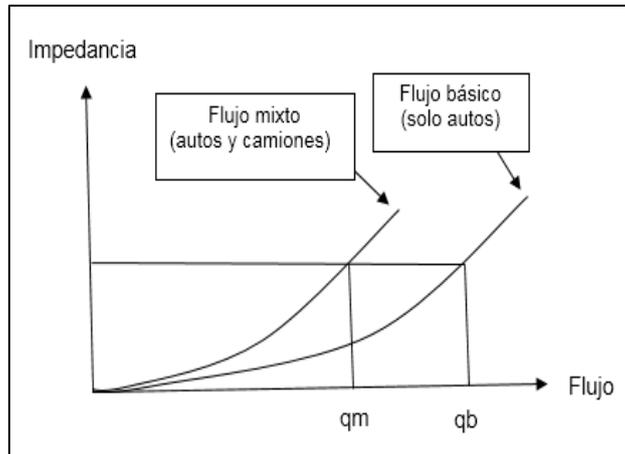


Figura 1.5 Modelo de densidad-flujo de Greenshields
Fuente: (Huber, 1982)

(Demarchi & Setti, 2003)

Sugiere 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 (1.11) calcularon los valores de los coeficientes 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}):

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_1(E_1 - 1) + P_2(E_2 - 1) + P_3(E_3 - 1) + P_4(E_4 - 1)} \quad (1.11)$$

Donde:

P_i: es el porcentaje de camiones tipo i.

E_i: es el valor del coeficiente de equivalencia vehicular para los camiones tipo i.

El método para la obtención de los coeficientes 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, la tasa de flujo en cuestión (q_s) como se muestra en la figura 1.6.

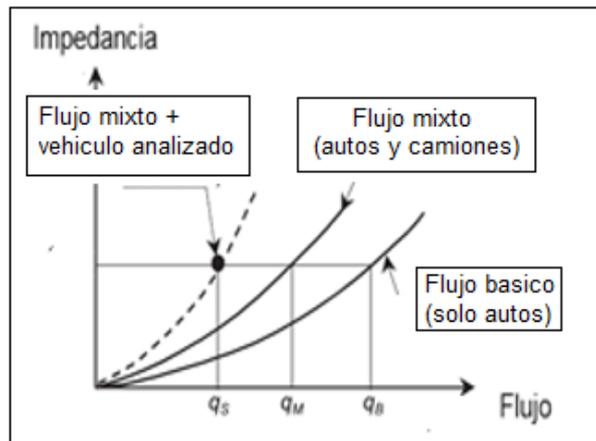


Figura 1.6 Modelo de densidad-flujo propuesto por Demarchi y Setti
Fuente: Demarchi y Setti, 2003

La ecuación (1.12) calcula el factor de equivalencia vehicular (PCE) utilizando la relación entre las tres tasas de flujo (q_B), (q_M), (q_S) que presentan el mismo nivel de densidad:

$$E_i = \frac{1}{\Delta p} * \left[\frac{q_B}{q_S} - \frac{q_B}{q_M} \right] + 1 \quad (1.12)$$

Donde:

Δp : Es la proporción de vehículos en cuestión que reemplaza a los automóviles en corriente del tráfico mixto.

(q_B)=flujo básico

(q_M)=flujo mixto

(q_S)=flujo en cuestión

(St John & Glauz, 1976)

Los valores de factor equivalente (PCE) derivados del método de la densidad se basan en conceptos de tráfico homogéneo. 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. En ingeniería de tránsito, el término flujo, es utilizado para indicar la tasa horaria equivalente de vehículos que pasan por un punto en una unidad de tiempo. El cálculo se realiza mediante la expresión (1.9).

$$PCE = \frac{q_b - q_m(1 - pt)}{q_m * pt} \quad (1.9)$$

Donde:

PCE: Factor equivalente

q_m : Flujo máximo en vehículos / hora

p : Porcentaje de camiones

q_b : Flujo Básico en auto / hora

1.5.3 Método basado en la velocidad

(Aerde & Yagar, 1983)

Este método desarrolla una metodología para estimar el valor del PCE utilizando una relación entre la velocidad de cada tipo de vehículo en la dirección principal de la vía y la velocidad de todos los vehículos que viajan en la dirección opuesta. El análisis de

velocidad usando la estructura lineal de modelo de regresión se presenta a continuación en la ecuación (1.13):

$$\text{Percentil de velocidad} = \text{Velocidad libre} + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (1.13)$$

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.

Utilizando estos coeficientes de reducción de velocidad se puede determinar los coeficientes de equivalencia vehicular mediante la ecuación 1.14, la cual se muestra a continuación.

$$PCE_n = \frac{C_n}{C_1} \quad (1.14)$$

Donde:

C_n: Coeficiente de reducción de velocidad del vehículo tipo n.

C₁: Coeficiente de reducción de velocidad de automóviles.

(Rahman & Nakamura, 2005)

Este método se realizó con el objetivo de determinar el valor del coeficiente de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados. Las zonas elegidas debían poseer requisitos como un alto volumen de tráfico, un elevado por ciento de vehículos no motorizados, terreno a nivel, la no existencia de zonas de parqueos en la vía y la poca influencia de las paradas de ómnibus en la zona.

El valor del coeficiente de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados se obtuvo mediante la ecuación 1.15, la cual se muestra a continuación:

$$PCE_{NMV} = 1 + \frac{S_b - S_m}{S_b} \quad (1.15)$$

Donde:

PCE_{NMV}: Coeficiente de equivalencia vehicular para vehículos no motorizados.

S_b: Velocidad promedio de los automóviles en un flujo básico (km/h).

S_m: Velocidad promedio de los automóviles en un flujo mixto (km/h).

1.5.4 Método basado en la velocidad y el área proyectada

(Chandra & Sikdar, 2000)

Este método es el más adecuado para condiciones de tránsito mixtas, en esta situación, el valor de PCE es proporcional a la relación de velocidad e inversamente proporcional a la relación de ocupación espacial con respecto al vehículo de diseño estándar.

Factor velocidad (F_v)

El factor velocidad se determina mediante la ecuación 1.16.

$$F_v = \frac{V_c}{V_i} \quad (1.16)$$

Donde:

V_c : Velocidad media de los automóviles ligeros.

V_i : Velocidad media 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 1.17.

$$F_a = \frac{A_i}{A_c} \quad (1.17)$$

Donde:

A_i : Área del vehículo tipo i .

A_c : Área del vehículo ligero.

La velocidad en la expresión está en función de las condiciones de la carretera y del tráfico, el PCE disminuye para percentiles de mayor velocidad, mientras que la ocupación espacial del vehículo indica la maniobrabilidad de este con respecto a otros vehículos. El valor se determina según la expresión (1.18). En este caso la expresión responde al cálculo de los factores equivalentes, respecto al vehículo ligero, el cual se considera como la unidad equivalente.

$$PCE = \frac{V_c/V_i}{A_c/A_i} \quad (1.18)$$

Donde:

PCE: Factor equivalente

V_c : Velocidad del vehículo ligero

V_i : Velocidad del vehículo i

A_c : Área rectangular del vehículo ligero

A_i : Área rectangular del vehículo i

(Srikanth & Mehar, 2016)

En el método se utiliza la velocidad media y el área proyectada de los vehículos pero introduce un nuevo factor: el intervalo promedio.

Factor intervalo (F_h)

Los autores establecen que el valor del intervalo es directamente proporcional al coeficiente de equivalencia vehicular; además plantean que para determinar este factor se rechazaron intervalos entre vehículos mayores a 20 segundos y se determina de acuerdo a la 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 .

Para realizar dicho estudio se apoyaron en las cámaras del tráfico de tres zonas de la India seleccionadas. El PCE es determinado mediante la ecuación (1.20) la cual combina el efecto de los factores antes mencionados.

$$PCE_i = F_v * F_h * F_a \quad (1.20)$$

Donde:

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.

1.5.5 Método basado en las demoras

(Cunagin & Messer, 1983)

Este método estima el valor del PCE basado en la distribución de la velocidad y los volúmenes de tráfico. Utiliza la relación de demora experimentada por un automóvil de pasajeros con respecto a otros coches de pasajeros. En este método se supone que los vehículos están siempre obstaculizados por vehículos más lentos. Se obtiene a partir de la expresión (1.21).

$$PCE = \frac{D_{ij} - D.\text{base}}{D.\text{base}} \quad (1.21)$$

Donde:

PCE: Factor de equivalencia del vehículo

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

Conclusiones parciales

- En Cuba las normas utilizadas para la clasificación de carreteras según los parámetros técnicos y funcionales son la NC: 853-2012 (Carreteras rurales. Caracterización técnica y características geométricas del trazado directo) y la NC 753:2010 (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional)
- En el mundo existen diferentes clasificaciones para los vehículos, las que varían según la función que realizan, la capacidad que poseen y el número de ruedas que tienen. En Cuba la clasificación vehicular según la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, muestra de forma directa los tipos de vehículos que circulan en el país, incluso contiene los vehículos de tracción animal, los que no son mencionados en las clasificaciones de los demás países analizados.
- 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.
- Para lograr la uniformidad en los análisis de tránsito, son indispensables los factores equivalentes, que convierten los vehículos en una unidad común. En varios países se han realizado estudios que determinan estos factores equivalentes, donde Pakistán muestra los valores que más se ajustan a los planteados en la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba) ya que en ambos consideran al automóvil como el vehículo equivalente.
- Existen diferentes métodos para la determinación de los factores equivalentes como: el método basado en las demoras, donde se supone que los vehículos están siempre obstaculizados por vehículos más lentos; el método basado en el intervalo de tiempo, para intersecciones señalizadas; el método basado en tasas de flujo y densidades que se basan en conceptos de tráfico homogéneo; el método basado en la impedancia de la tasa de flujo para vehículos multicarriles y el método basado en la velocidad y el área proyectada de los vehículos que es el más adecuado para condiciones de tránsito mixtas.

Después de la realización de este capítulo, se demuestra que es posible la determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES EQUIVALENTES

El capítulo plantea de forma detallada, la metodología para la determinación de los factores equivalentes según los métodos basados en la velocidad y el área proyectada de los vehículos, densidad y tasa de flujo y el método de la velocidad , área proyectada y el intervalo de los vehículos, para su aplicación en una de las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara, a partir de la clasificación vehicular propuesta por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara.

2.1 Generalidades de la metodología para la determinación de los factores equivalentes

En este epígrafe se plantea un orden lógico de la metodología a utilizar para la determinación de los factores equivalentes.

1. Clasificar las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad
Seleccionar la carretera rural de dos carriles que acceden a la ciudad a utilizar en el estudio.
2. Agrupar los vehículos por categorías.
3. Seleccionar el tamaño de la muestra en cada categoría para la determinación de los factores equivalentes a utilizar en la investigación.
 - Realizar aforos vehiculares durante la hora pico en la carretera seleccionada.
 - Seleccionar la muestra de vehículos para cada categoría.
4. Determinar la velocidad y el intervalo de cada categoría en función de los vehículos que agrupa, en la carretera seleccionada.
5. Determinar los factores equivalentes para cada categoría.
6. Análisis de los resultados obtenidos.

2.2 Clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad

La clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad se realiza a partir de la clasificación funcional vigente en la NC 753:2010 (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional), donde las carreteras rurales pueden ser:

- Vías expresas:

-Carreteras arteriales multicarriles divididas en dos sentidos de circulación. Con control de acceso parcial o total y generalmente con paso a desnivel en las intersecciones principales.

-Proporcionan una vinculación directa entre la capital del país y el resto de las capitales provinciales.

-Sirven preferiblemente a los centros urbanos con población de 50 000 o más habitantes y aquellos de 20 000 o más que se encuentren al alcance de estas rutas.

-Por lo general las intensidades de tránsito sobrepasan los 8 000 vehículos por día.

-Sus velocidades de diseño varían entre 140 km/h y 80 km/h, en dependencia del tipo de terreno por el que se desplazan.

-Son las vías de más alto volumen de tránsito y velocidad libre.

- Arterias principales:

-Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación. Por estas vías pasan altas intensidades de tránsito, alcanzando valores entre 4 000 y 8 000 vehículos por día, aunque en ocasiones estos valores pueden ser inferiores.

-Sus principales servicios están dirigidos a lugares urbanos con población de 20 000 habitantes o más, pero a diferencia de las vías expresas, tienden a vincular más y prácticamente de forma directa a los centros o áreas urbanas con población de 2 000 o más habitantes.

-Su velocidad de diseño varía entre 100 km/h y 50 km/h, en dependencia del tipo de terreno donde están ubicadas.

- Arterias menores:

-Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación, sin control de accesos y sirven directamente a los terrenos colindantes.

-Dentro del sistema arterial, son las vías de menos intensidades de tránsito. Por lo general por ellas se desplazan intensidades de tránsito que oscilan entre 2 000 y 4 000 vehículos por día, aunque en ocasiones estas intensidades pueden ser inferiores.

-Sirven al movimiento de tránsito entre dos y más provincias. Aunque no se caracteriza por ser de amplitud nacional, pueden cruzar una gran parte del país.

-Sus velocidades de diseño varían entre 80 km/h y 40 km/h, en dependencia del tipo de terreno por el que discurren.

- **Colectoras:**

-Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación, sin control de accesos y sirven directamente a los terrenos colindantes. Por este subsistema se mueven intensidades de tránsito que se ubican entre 750 y 2 000 vehículos por día, aunque en ocasiones estas intensidades pueden ser inferiores.

-Constituyen las principales ramificaciones del subsistema arterial principal y del menor. Generalmente prestan servicios a los viajes intermunicipales y en ocasiones a los interprovinciales.

-Sus velocidades de diseño varían entre 60 km/h y 30 km/h, en dependencia del tipo de terreno.

- **Locales:**

-Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación, sin control de accesos y sirven directamente a los terrenos colindantes. Son las vías de menos intensidades de tránsito, estando sus valores por debajo de 750 vehículos por día.

-Constituyen una red ramificada, pero más bien de importancia en el municipio o localidad.

-Sus velocidades de diseño varían entre 50 km/h y 30 km/h, según el tipo de terreno por el que se desplace su trazado.

-Por lo general sirven de manera directa a centros urbanos con población de 2 000 a 10 000 habitantes.

La red viaria de la provincia de Villa Clara presenta 1 064,49 km de vías de interés nacional de las cuales 905,10 km de carreteras rurales de dos carriles de circulación son de interés nacional. No tiene declaradas vías de interés provincial, dentro de las vías municipales hay 1 346,51 km (52,16%) que son vías rurales y 1 234,82 km (47,84%) son vías urbanas (García & Romero, 2016) .Según los datos anteriores, las carreteras rurales de dos carriles de interés nacional en Villa Clara representan el 85% del total de vías de interés nacional en la provincia.

2.3 Selección de la carretera rural de dos carriles que acceden a la ciudad

Para la selección de la carretera rural de dos carriles se aplicara los criterios de acuerdo al funcionamiento del tránsito. Estos elementos son: la conectividad que ofrecen las carreteras a la ciudad y el acceso directo a la Circunvalación, el volumen de vehículos, la capacidad vehicular y los índices de accidentalidad. La selección de la carretera rural de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara, se realiza a partir de los

resultados obtenidos en la clasificación mediante la NC 753:2010 y de criterios de gran interés para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, en cuanto al funcionamiento del tránsito en la provincia planteados anteriormente.

2.4 Agrupación de vehículos por categorías

La Ley No 109, Código de Seguridad Vial muestra cada uno de los tipos de vehículos que circulan en Cuba. Para el presente estudio se toma la clasificación vehicular ofrecida por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara que agrupa los vehículos por categorías, expuesta anteriormente en la tabla 1.11 del capítulo I. Las categorías son las siguientes:

- Ciclos
- Motos
- Ligeros
- Pesados
- Ómnibus
- Equipos especializados
- Vehículos de tracción animal

2.5 Selección del tamaño de la muestra

Para la determinación de los factores equivalentes se toma una muestra de vehículos por cada categoría según la clasificación del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara. Para esto se realizan aforos vehiculares durante la hora pico en la carretera seleccionada y se calcula la muestra.

2.6 Aforo vehicular durante la hora pico

Según el Manual de Ingeniería de Tránsito, los estudios del tránsito se realizan cuando se desea conocer los volúmenes de tránsito que circulan por una vía, por parte de ella, o por un sistema de vías. Para efectuar un estudio de volumen de tránsito se deben tener en cuenta los siguientes factores (Egues, 1985).

1. Objeto de estudio e información necesaria.
2. Grado de precisión deseado y recursos disponibles.
3. Magnitud de las corrientes vehiculares.
4. Tiempo de organización del estudio.

Los estudios de volúmenes de tránsito se realizan con el objetivo de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas en la vía. Pueden realizarse en zonas muy amplias de toda la red vial o en lugares específicos como

intersecciones aisladas, túneles, estaciones de peaje, etc. Las razones para realizar estos estudios son variadas y el tipo de dato, así como el tiempo de duración de los mismos depende de la aplicación que tenga la investigación.

El tipo de datos recolectado en un estudio de volúmenes de tránsito depende mucho de la aplicación que tengan los mismos. Algunos requieren determinar la composición vehicular y los movimientos direccionales, como el caso de estudio de una intersección urbana, y en otros solo se necesita conocer volúmenes totales.

El aforo es la enumeración de los vehículos que pasan por uno o varios puntos fijos establecidos previamente de una vía o vías, clasificándolos de acuerdo con distintos criterios según el objeto del estudio. A no ser que se enumeren los vehículos de forma continua todo el año, año tras año, los aforos constituyen una toma de muestras que pueden ser desde unos pocos minutos hasta muchos meses.

Existen diversas formas de obtener los conteos de volúmenes de tránsito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole. Conforme a los procedimientos y equipos empleados pueden distinguirse dos clases principales de aforos: manuales y con instrumentos registradores, aunque a veces también se usa el método de filmación. El periodo de diseño no debe comprender condiciones en las que se presenten eventos especiales, a menos que se desee estudiar específicamente esa situación. No es recomendable que los aforos se lleven a cabo en días festivos ni en días anteriores y posteriores a estos, tampoco cuando existen condiciones atmosféricas adversas que pudieran afectar el flujo.

Los anteriores métodos permiten conocer el grado de ocupación y las condiciones en que operan las vialidades; así como el análisis de la evolución histórica de la demanda permite definir las tendencias de crecimiento y el momento a partir de los cual ciertos segmentos dejaran de prestar un servicio adecuado, convirtiéndose en cuellos de botella que propicien el estancamiento del desarrollo en lugar de propiciarlo.

2.6.1 Métodos para la realización de aforos

- Aforos manuales

Los aforos manuales consisten en registrar la cantidad de vehículos, por tipo, que cruzan una línea imaginaria en diferentes puntos carreteros y urbanos, con la finalidad de determinar el 100% de los volúmenes de vehículos, así como su composición vehicular.

Los métodos de aforos manuales presentan ventajas y desventajas entre las cuales se encuentran:

- ✓ Ventajas: ayuda a corregir el porcentaje de vehículos de más de dos ejes, con el objetivo de corregir los datos globales obtenidos en los aforos automáticos
- ✓ Desventajas: duran periodos de transito elevados es necesario más de una persona para efectuar los aforos.

Con el objeto de actualizar y detallar las características de tránsito, en un tramo de carretera deben realizarse aforos de corta duración bajo la observación de importantes aspectos locales como puede ser el entorno agrícola, en cuyo caso ha de procurarse realizar aforos en las épocas de siembra y cosecha; o si la zona es de influencia turística, estudiar los periodos normales y los de mayor afluencia del turismo.

Gran parte de los aforos de volúmenes de tránsito se hacen de forma manual. Hay varias razones, en primer lugar, los aforos manuales están al alcance de más ingenieros de tránsito, profesores y alumnos. En segundo lugar, en aforos que duran pocas horas no vale la pena llevar, instalar y recoger equipo automático. En tercer lugar, la percepción de los aforadores humanos es siempre mucho más inteligente que la de las máquinas, por perfeccionadas que estas sean, y permite captar muchos detalles que son difíciles de obtener de forma mecánica, tales como los movimientos direccionales de los vehículos y los relacionados con la clasificación de lo que se cuenta.

La mayoría de los aforos manuales son cortos y se hacen en las horas pico, durante una o dos horas, divididas en períodos 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. Los modelos de campo pueden confeccionarse de forma que se adapten a los requerimientos del aforo.

Dentro de la precisión de los estudios es importante el error estimado de la muestra:

- ✓ Menos del 10% si TPD (Tránsito promedio diario) > 500 vehículos/día.
- ✓ Menos del 20% si TPD < 500 vehículos/día.
- ✓ Nivel de confianza del 95%.
 - Aforos automáticos

Los contadores automáticos deben ser considerados en la mayoría de los aforos en los que se requieren más de 12 horas de datos continuos en el mismo lugar, dado que el costo del personal aumenta proporcionalmente al tiempo. Los contadores automáticos se utilizan para obtener conteos vehiculares en lugares situados a mitad de cuadra o en tramos continuos a campo abierto. Los avances tecnológicos permiten captar cada día más detalles del tránsito, automatizar más las tareas de reducción y análisis de los datos captados y reducir el tamaño del equipo para que sea más fácil de ocultar.

Este tipo de aforo presenta diversas ventajas y desventajas, tales como:

- Ventajas: bajo costo y extenso tiempo de cobertura
- Desventajas: la mayoría de ellos solo proporcionan número de vehículos o ejes y no distinguen el tipo de vehículo, ni su movimiento direccional, ni los peatones y están sujetos al vandalismo

En la actualidad se cuenta con 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 otros métodos como la filmación y el uso de cámaras virtuales, mediante las cuales se obtienen una gran precisión, se pueden comprobar datos que parezcan erróneos además, de captar mucha información simultánea y adicional

- ✓ Ventajas: es posible obtener todos los movimientos direccionales que ocurran simultáneamente, por intensos que sean, utilizando un solo observador, ofrece mayor confianza pues se puede comprobar datos que parezcan erróneos, se trabaja más cómodamente y al abrigo de las inclemencias del tiempo, permite obtener otros datos que interesen
- ✓ Desventajas: Puede no resultar económico
- Otros métodos

Existen otros métodos como el uso de contadores ópticos, laser etc., que son más confiables en los resultados, que tienen mayor duración y resisten mejor a los cambios de tiempo por lo que son tecnologías más costosas y son más utilizadas en lugares permanentes

La tabla 2.1 muestra el método de aforo correcto en función de las características del estudio que se pretende realizar.

Tabla 2.1. Elección del método de aforo vehicular

Información	Manual	Automático	Otras técnicas
Corta duración			
Secciones en la vía	X	X	Puede no resultar económico
Intersección con giros	X	Difícil	
Clasificación por vehículos	X	X	
Conteos peatonales	X	No	
Larga duración			
Costo	No económico	X	X

Fuente: Curbelo, 2017.

La hora pico o el volumen horario de máxima demanda se define como el número máximo de vehículos que pasan por un punto o sección transversal de un carril o calzada durante 60 minutos consecutivos (Egues, 1985)

A partir de todo lo expuesto en relación a los métodos para estudios de volúmenes de tránsito se decide que el aforo vehicular se realiza de forma manual con apoyo de la cámara de video en la carretera seleccionada para el estudio. Se realiza durante el horario de la mañana, de 7:00 a 9:00 am. Se clasifican y se cuentan los vehículos en períodos de 15 minutos, a través de un modelo que recoge las categorías de los vehículos, la cantidad de vehículos que pasan y el total en cada período, como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Modelo para la realización del 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:							
	HORA:							
CATEGORÍAS	7:00 a 7:15	7:15 a 7:30	7:30 a 7:45	7:45 a 8:00	8:00 a 8:15	8:15 a 8:30	8:30 a 8:45	8:45 a 9:00
CICLOS								
MOTOS DE 2 RUEDAS								
MOTOS DE 3 RUEDAS								
LIGEROS								
PESADOS								
ÓMNIBUS								
VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL								
EQUIPOS ESPECIALIZADOS								
TOTALES								

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara.

2.6.2 Selección de la muestra de vehículos para cada categoría

Después de la realización de los aforos en la carretera seleccionada se toma el período de 15 minutos más cargado. Luego se selecciona la cantidad registrada para cada

categoría como el tamaño de la muestra para la selección del número de vehículos a analizar de la carretera.

El cálculo del número de muestras (cantidad de vehículos para cada categoría) se realiza mediante la expresión (2.1), que es recomendable 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 Determinación del intervalo de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.

El intervalo se define como el tiempo entre el paso de dos vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos.

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. (Spindola & Grisales, 1994)

Para el cálculo de los intervalos se pueden utilizar las expresiones siguientes:

El intervalo promedio se representa según la ecuación (2.2):

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N-1} \quad (2.2)$$

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 $i+1$

Para la siguiente expresión es necesario determinar inicialmente la brecha o claro según la ecuación (2.3):

$$\text{Brecha o Claro} = h - \frac{L_L}{S_F} \quad (2.3)$$

Donde:

- h : es el tiempo de intervalo
- L_L : longitud del vehículo líder.
- S_F : velocidad del vehículo que sigue al líder.

La brecha o claro determinado por la ecuación 2.3 es utilizada para calcular el intervalo mediante la ecuación 2.4:

$$\text{Intervalo} = \text{Brecha o claro} + \frac{L_F}{S_F} \quad (2.4)$$

Donde:

L_F : longitud del vehículo que sigue al líder.

S_F : velocidad del vehículo que sigue al líder.

El tiempo de intervalo es el término microscópico más exigente relacionado tanto con la tasa de flujo como con la capacidad de una sección. Además, el intervalo es el único que puede representar directamente el efecto de la longitud de cada tipo de vehículo, dado que todos los vehículos no presentan las mismas características. Para la presente investigación se utilizara la expresión (2.4) para el cálculo de los intervalos dado que depende de otros factores como la velocidad y la longitud de los vehículos, con su aplicación se pueden obtener mayores intervalos.

Existen factores que causan variaciones en la obtención de los intervalos entre los que se pueden distinguir: el efecto de los camiones en las vías que al tener mayor longitud que los demás vehículos, el intervalo resulta mayor y en consecuencia limita las posibilidades de adelantamiento y si se le agrega que circula a una velocidad baja, entonces, reduce la velocidad de todo el tránsito y su nivel de servicio que a su vez aumenta el intervalo de todo el tránsito reduciendo la capacidad del carril.

Efecto de los camiones

El efecto negativo de los camiones en la corriente del tráfico se atribuye a tres factores:

- 1.- Los camiones poseen mayor longitud que los vehículos ligeros.
- 2.- Los camiones operan a capacidades inferiores que los vehículos ligeros.
- 3.- Los camiones poseen un impacto físico cerca de los vehículos ligeros y un impacto psicológico en los conductores de estos vehículos ligeros.

Krammes y Crowley en 1986 sugieren que para analizar la capacidad hay que dividir las carreteras en varios segmentos básicos:

- Autopistas.
- Carreteras rurales (de dos carriles y multicarriles).
- Calles urbanas (intersecciones señalizadas y no señalizadas).

La relativa importancia de los tres factores antes descritos es diferente entre los tipos de carreteras expuestos, el impacto de las capacidades operativas inferiores de los camiones es más severo sobre las carreteras rurales dos carriles, que sobre autopistas

multicarriles, ya que estas proveen mayores oportunidades de adelanto. La relativa importancia de cada factor también depende de características de la carretera, tales como su geometría y configuración. Además, el efecto negativo de los camiones en vehículos cercanos podría ser más importante en ciertas configuraciones de calzada como rampas o secciones zigzagueantes. Por lo tanto, la formulación para calcular los coeficientes de equivalencia vehicular para un tipo de carretera en particular debe ser expresada en términos de variables que reflejen la combinación de factores que contribuyen en el efecto de los camiones sobre la calidad del servicio.

Mediciones de intervalos adecuadas

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 carretera (90 metros antes y después de punto de observación) y segundo, que ha tenido la oportunidad de ajustar su velocidad y espaciamiento relativo con respecto al vehículo principal. Krammes en 1985 encuentra que la diferencia entre las velocidades de automóviles y camiones, cuando se encuentra en seguimiento, en un carril en particular y en un nivel de volumen en específica es generalmente menor que 1,6 km/h.

Definiendo los tipos de vehículos

Se propone utilizar la longitud de 6.6 metros para definir entre un vehículo pesado y un automóvil ligero. Cualquier vehículo con una longitud menor que 6.6 metros es considerado un automóvil ligero, mientras que si posee una longitud mayor de 6.6 metros es considerado un vehículo pesado.

En relación a la diferencia de velocidad proponen utilizar una diferencia de velocidad entre ambos vehículos no mayor a 5.5 km/h.

2.8 Determinación de la velocidad de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.

La velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido por un móvil y el tiempo que ha tardado en recorrerlo, lo que se muestra en la expresión (2.5).

$$V = \frac{d}{t} \quad (2.5)$$

Donde:

d: distancia recorrida (m o km)

t: tiempo empleado (s o h)

Existen factores que causan variaciones en las velocidades de los vehículos 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.

- Tipo de conductor.
- Tipo y características de vías y vehículos.
- Medio ambiente y hora del día.
- Interacción vehicular.
- Regulación del tránsito.

En las carreteras rurales es fundamental destacar el segundo elemento: tipo y características de vías y vehículos, pues en estas vías que son generalmente de circulación continua, los vehículos ligeros desarrollan mayor velocidad que los pesados, aunque los ómnibus muchas veces sobrepasan la velocidad de los ligeros. Las curvas cerradas, las distancias visibles, la calidad y el estado del pavimento, el número y ancho de los carriles, el ancho y las condiciones de los paseos son factores que influyen en la velocidad de todos los vehículos.

La inclinación y longitud de las pendientes afectan también la velocidad de los vehículos, pero su efecto es mucho más pronunciado en los vehículos pesados que en los ligeros debido a la mayor relación entre el peso y la potencia. La pendiente ascendente y descendente afecta desigualmente la velocidad de los camiones, según la inclinación de esta. El efecto de las pendientes ascendentes y descendentes menores del 3% en la velocidad de camiones cargados no es apreciable.

Antes de comenzar cualquiera de los métodos, es imprescindible llenar en el modelo los siguientes datos:

- ✓ Lugar: Vía donde se realiza el estudio.
- ✓ Fecha: El día, mes y año en que se realiza el estudio.
- ✓ Hora: Hora de comienzo del estudio.
- ✓ Entre: Significa entre los lugares que se realiza el estudio.
- ✓ Sentido: El sentido hacia el cual se dirigen los vehículos.
- ✓ Equipo usado: El medio que se usa para el estudio.

La presente investigación utiliza el video como el método para la medición de la velocidad y el intervalo entre los vehículos mediante dado que con su utilización se pueden obtener una gran precisión, se pueden comprobar datos que parezcan erróneos además, de captar mucha información simultánea y adicional. Las velocidades para cada categoría, en función de los vehículos que incluye, quedan registradas en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Modelo para registrar la velocidad de cada categoría

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: Elaboración propia a partir de los modelos usados en el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara

2.9 Determinación de los factores equivalentes para cada categoría vehicular

Existen varios métodos para determinar el factor de equivalencia vehicular. En la presente investigación se desarrollaran los métodos basados en la densidad y tasa de flujo, el método de la velocidad y el área proyectada de los vehículos y el método vasado en la velocidad, el área proyectada y el intervalo de los vehículos para su aplicación en una de las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.

La determinación del factor de equivalencia vehicular mediante la aplicación del método basado en la tasa de flujo y densidades es utilizado para vías de múltiples carriles mientras que el método de la velocidad, área e intervalo y otros como el método de la velocidad y el área proyectada de los vehículos son ideales para las características del tránsito mixtas, que son las existentes en Cuba. Los métodos seleccionados se especifican a continuación:

(Demarchi & Setti, 2003)

Se utilizó la ecuación (2.6) del HCM versión 2000 para determinar el factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}):

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_1(E_1-1)+P_2(E_2-1)+P_3(E_3-1)+P_4(E_4-1)} \quad (2.6)$$

Donde:

P_i: es el porcentaje de camiones tipo i.

E_i: es el valor del coeficiente de equivalencia vehicular para los camiones tipo i.

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),
2. Establecer la relación entre la densidad y la tasa de flujo mixto, que contiene automóviles (1 - p) y camiones (p),
3. Establecer la relación entre la densidad y la tasa de flujo que contiene más de un tipo de vehículos pesados (Δp),
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,
5. Calcular el factor de equivalencia vehicular (PCE) para el vehículo pesado seleccionado utilizando las tres tasas de flujo obtenidas en el paso anterior y la expresión 2.7:

$$E_i = \frac{1}{\Delta p} * \left[\frac{q_B}{q_S} - \frac{q_B}{q_M} \right] + 1 \quad (2.7)$$

Donde:

Δp : Es la proporción de vehículos en cuestión que reemplaza a los automóviles en corriente del tráfico mixto.

(q_B)=flujo básico

(q_M)=flujo mixto

(q_S)=flujo en cuestión

Método basado en la velocidad

(Chandra & Sikdar, 2000)

El procedimiento puede ser utilizado para obtener el coeficiente de equivalencia vehicular para cada tipo de vehículo en la corriente del tráfico.

El factor de equivalencia vehicular es calculado utilizando la ecuación (2.8)

$$PCE = \frac{V_c/V_i}{A_c/A_i} \quad (2.8)$$

Donde:

PCE: Factor equivalente

V_c : Velocidad del vehículo ligero

V_i : Velocidad del vehículo i

A_c : Área rectangular del vehículo ligero

A_i : Área rectangular del vehículo i

Factor velocidad (F_v)

El factor velocidad se determina mediante la ecuación (2.9)

$$F_v = \frac{V_c}{V_i} \quad (2.9)$$

Donde:

V_c : Velocidad media de los automóviles ligeros.

V_i : Velocidad media 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 2.10.

$$F_a = \frac{A_i}{A_c} \quad (2.10)$$

Donde:

A_i: Área del vehículo tipo i.

A_c: Área del vehículo ligero.

(Srikanth & Mehar, 2016)

El PCE es determinado mediante la ecuación 2.9:

$$PCE_i = F_v * F_h * F_a \quad (2.12)$$

Donde:

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 intervalo (F_h)

Los autores establecen que el valor del intervalo es directamente proporcional al coeficiente de equivalencia vehicular; además plantean que para determinar este factor se rechazaron intervalos entre vehículos mayores a 20 segundos y se determina de acuerdo a la ecuación (2.11)

$$F_h = \frac{h_i}{h_c} \quad (2.11)$$

Donde:

h_i: intervalo promedio de los vehículos ligeros.

h_c: intervalo promedio de los vehículos tipo i.

Luego de la determinación de los factores equivalentes por los métodos anteriores, se aplican las expresiones siguientes, en la carretera seleccionada.

1. El factor equivalente medio según la expresión (2.13)

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

Donde:

F. eq.medio: Factor equivalente medio

F: Factores equivalentes calculados

N: Número de factores equivalentes calculados

2. La desviación estándar según la expresión (2.14)

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

Donde:

S: Desviación estándar

F eq.medio: Factor equivalente medio

F: Factores equivalentes calculados

N: Número de factores equivalentes calculados

3. El intervalo de confianza según la expresión (2.15)

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

Donde:

I: Intervalo de confianza

F. eq.medio: Factor equivalente medio

S: Desviación estándar

K: Número de desviaciones estándar correspondientes al nivel de confiabilidad deseado (Tabla 9.6 del Libro de Ingeniería de Tránsito (Spíndola & Grisales, 1994)

En este caso, el nivel de confianza es de 95%, igual al utilizado durante el cálculo del número de muestras, para la determinación de la cantidad de vehículos a analizar para cada categoría. Para un nivel de confianza de 95%, el número de desviaciones estándar correspondiente (K) es de 1,96 (Spindola & Grisales, 1994)

2.10 Análisis de los resultados obtenidos

Después de la determinación de los factores de equivalencia vehicular de forma general para la carretera rural de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara seleccionada, se procede al análisis de estos y la comparación con los factores establecidos en la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba). Además se analiza la influencia de los nuevos factores equivalentes en los estudios de ingeniería de tránsito y en otros trabajos que involucren el volumen vehicular, como es el caso del diseño de estructuras de pavimentos.

Conclusiones parciales

- Se propone un procedimiento metodológico general que permite determinar los factores equivalentes para las diferentes categorías de vehículos en vías rurales de la provincia de Villa Clara tomando como vehículo unitario al automóvil.
- La selección de las carreteras de muestra para la investigación se realiza a partir de los resultados obtenidos en la clasificación mediante la NC 753:2010 y de criterios como: la conectividad que ofrecen a la ciudad y el acceso directo a la Circunvalación, el volumen de vehículos que son capaces de almacenar, la capacidad vehicular y los índices de accidentalidad que muestran.
- Se emplearán para los estudios de volúmenes de tránsito aforos manuales en la vía seleccionada auxiliados por medio de la cámara de video para la determinación de los estudios de velocidad y mediciones de intervalo, aplicando la clasificación vehicular ofrecida por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara que agrupa los diferentes tipos de vehículos por categorías.
- La determinación de los factores equivalentes se realiza a partir de varios métodos seleccionados desarrollado por varios autores: (Demarchi & Setti, 2003), (Chandra & Sikdar, 2000)y (Srikanth & Mehar, 2016).
- Se utilizarán varias fórmulas estadísticas para el procesamiento de los datos como la media de los factores equivalentes y la desviación estándar de la muestra.

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

En el presente capítulo se desarrollan la metodología para la determinación de los factores equivalentes expuesta en el capítulo II. Se realizan los estudios de campo y se analizan los valores de los factores de equivalencia vehicular obtenidos, además se comparan con los establecidos en la NC: 53-118-1984 y se analiza la influencia de los nuevos factores equivalentes en estudios de ingeniería de tránsito y en otros estudios que requieran volumen de vehículos y se arriba a conclusiones.

3.1 Clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara

La clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara se realiza a partir de la clasificación funcional vigente en la NC 753:2010 (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional). En la tabla 3.1 se muestran los resultados de la clasificación.

Tabla 3.1. Clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara

Carretera	Clasificación según NC 753:2010
Esperanza - Carretera Central	Arteria Principal
Placetas - Carretera Central	Arteria Principal
Camajuaní - Santa Clara	Arteria Menor
Encrucijada - Santa Clara	Colectora
Manicaragua - Santa Clara	Colectora
Sagua - Santa Clara	Colectora
Santa Clara – Acceso de la Autopista Nacional (Ranchuelo - Santa Clara)	Arteria Principal
Báez – Santa Clara	Colectora
Carretera de acceso al Reparto Escambray	Local
Carretera de acceso al Matadero de Aves	Local
Carretera Sub Planta –Planta Mecánica	Local
Carretera de los Caneyes – Entrada de la Plaza de la Revolución	Local

Fuente: (Curbelo, 2017)

En su mayoría las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara tienen la clasificación de vías colectoras, las cuales corresponden a las vías que

enlazan los municipios adyacentes con la capital provincial. Destacan además otras clasificaciones como las carreteras locales, que son las que unen la ciudad con asentamientos colindantes. Como arterias principales se incluyen las vías que se unen a la Carretera Central y a la Autopista Nacional. La carretera de Camajuaní tiene gran importancia económica y se considera como una arteria menor.

3.2 Selección de la carretera rural de dos carriles que accede a la ciudad de Santa Clara.

De acuerdo a la clasificación funcional de las carreteras rurales y a los criterios expuestos en el capítulo II, la carretera seleccionada para la determinación de los factores equivalentes es la siguiente:



Figura 3.1. Carretera Manicaragua – Santa Clara (abril 2018)
Fuente: (Elaboración propia)

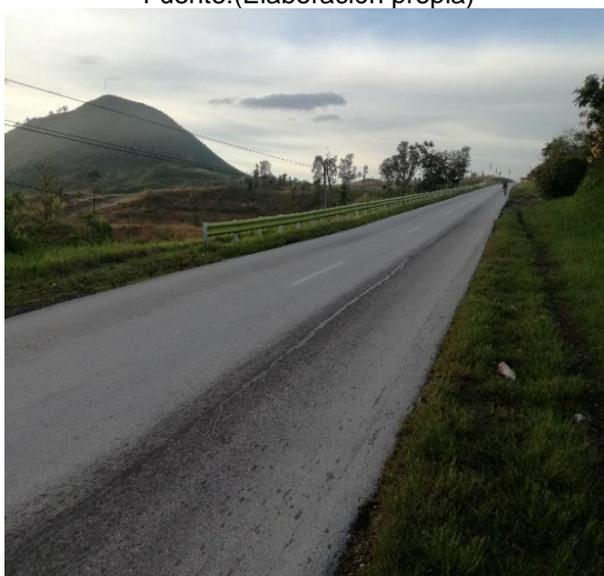


Figura 3.2. Carretera Manicaragua – Santa Clara (abril 2018)
Fuente: (Elaboración propia)

- Manicaragua – Santa Clara: se clasifica como colectoras y permite fundamentalmente el tránsito hacia la capital provincial y uno de los elementos que la caracteriza es el elevado índice de accidentalidad que presenta.
- Se realiza la selección de esta carretera dado que uno de los aspectos que la caracterizan es la heterogeneidad en la circulación de vehículos, lo que permite obtener una representación de gran variedad de vehículos para los aforos vehiculares y los análisis posteriores.
- Otra de las características que presenta la carretera Manicaragua – Santa Clara es que contiene gran variedad de tramos representados en tramos rectos y ondulados con pendientes variables.

3.3 Agrupación de los vehículos por categorías

Como se expone en el capítulo II, para el presente estudio se toma la clasificación vehicular ofrecida por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara. Cada categoría y los tipos de vehículos que incluye se muestran en la tabla 1.11 del capítulo I.

3.4 Realización de los aforos vehiculares

En la vía seleccionada se realiza el aforo vehicular mediante el método de la cámara de video, durante el horario de la mañana de (7:00 a 9:00 am), estos aforos se presentan en el anexo 1.

Como parte de los resultados de los aforos realizados, se muestran en la tabla 3.2 los porcentos para cada categoría en función del total de vehículos contados durante la hora pico en la carretera seleccionada.

Tabla 3.2. Porciento para cada categoría durante el horario de (7:00 - 9:00 am)

Carretera		Manicaragua-Santa Clara		
		(7:00 - 8:00)	(8:00 - 9:00)	(7:00 - 9:00)
Hora				
Total de vehículos aforados		260	275	535
Categorías		Porciento para cada categoría (%)		
Ciclos		5	3	4
Motos	De dos ruedas	14,6	14	14
	De tres ruedas	0,4	1	1
Ligeros		48	50	49
Pesados		23	21	22
Ómnibus		2	4	3
Equipos especializados		3	1	5
Vehículos de tracción animal		4	6	2

Fuente: Elaboración propia

3.5 Selección de la cantidad de vehículos para cada categoría para la determinación de los factores equivalentes.

Luego de realizado los aforos vehiculares se seleccionan los 15 minutos más cargados para la carretera elegida y se calcula la muestra para cada categoría (Ver anexo 3).

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 .Para este último aspecto se obtiene los valores después de concluir los estudios de velocidad que se presentan en el epígrafe siguiente.

Tabla 3.3. Total de muestras analizadas para los estudios de velocidad

Carretera	Manicaragua - Santa Clara
Hora pico	7:00 - 9:00am
15 minutos más cargados	7:45 - 8:00 am
CATEGORÍA	Total de vehículos aforados /Muestra/Muestra analizada
CICLOS	3/3/3
MOTOS DE DOS RUEDAS	12/11/12
MOTOS DE TRES RUEDAS	0/0/3
LIGEROS	35/25/60
PESADOS	21/17/31
ÓMNIBUS	4/4/6
VEH. ESPECIALIZADOS	7/6/7
VEH. TRACCIÓN ANIMAL	2/2/4

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un total de 68 muestras, de ellas se realizaron 126 durante los trabajos de campo, para un 185% en el cumplimiento de la muestra, donde la mayor cantidad pertenece al grupo de vehículos ligeros con 60 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 los vehículos pesados con 31 muestras y las motos de tres ruedas presentan la menor cantidad de muestras con un total de 3 durante los estudios de velocidad.

3.6 Determinación de la velocidad de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.

La velocidad se determina mediante el uso de la cámara de video en función del total de muestras a analizar en la carretera seleccionada y para cada categoría utilizando la siguiente expresión:

$$V = \frac{d}{t} \quad (3.1)$$

Donde:

d: distancia recorrida (m o km)

t: tiempo empleado (s o h)

Todo este procedimiento se realiza con el asesoramiento del tutor de la investigación.

Los resultados del estudio de velocidad se muestran en el anexo 2.

Durante los estudios de velocidad, los mayores valores corresponden a los vehículos ligeros para la carretera donde se realiza la investigación. La tabla 3.4 muestra la velocidad media y la velocidad máxima registrada para este tipo de vehículo. La velocidad límite para la carretera de Manicaragua es de 60 km/h y en esta, la velocidad media de los vehículos ligeros, los vehículos pesados y los ómnibus, no cumple con lo establecido por lo que se constata que existen varios casos de vehículos que circulan a exceso de velocidad.

Tabla 3.4. Velocidad de los vehículos ligeros

Carretera	Velocidad media (km/h)	Velocidad máxima (km/h)
Manicaragua - Santa Clara	66	74

Fuente: Elaboración propia

3.7 Determinación del intervalo de cada categoría en función de los vehículos que agrupa en la carretera seleccionada.

El intervalo se determina apoyado en el uso de la cámara de video en función del total de muestras a analizar en la carretera seleccionada y para cada categoría utilizando las siguientes expresiones:

Antes de calcular el factor de equivalencia vehicular es necesario determinar el intervalo de acuerdo con los tipos de vehículos, para esto primeramente se determina la brecha o claro según la ecuación (3.2):

$$\text{Brecha o Claro} = h - \frac{L_L}{S_F} \quad (3.2)$$

Donde:

h: es el tiempo de intervalo

L_L: longitud del vehículo líder.

S_F: velocidad del vehículo que sigue al líder.

La brecha o claro determinado por la ecuación 3.2 es utilizada para calcular el intervalo mediante la ecuación 3.3:

$$\text{Intervalo} = \text{Brecha o claro} + \frac{L_F}{S_F} \quad (3.3)$$

Donde:

L_F: longitud del vehículo que sigue al líder.

S_F: velocidad del vehículo que sigue al líder.

La tabla 3.5 muestra el número de muestras calculadas para cada categoría.

Tabla 3.5. Total de muestras analizadas para los estudios de intervalo

Carretera	Manicaragua - Santa Clara
Hora pico	7:00-9:00
CATEGORÍA	Muestra analizada
CICLOS	0
MOTOS DE DOS RUEDAS	12
MOTOS DE TRES RUEDAS	0
LIGEROS	40
PESADOS	22
ÓMNIBUS	4
VEH. ESPECIALIZADOS	7
VEH. TRACCIÓN ANIMAL	0

Fuente: Elaboración propia

Para la aplicación de los estudios de intervalo se desprecian los valores de los ciclos, los vehículos de tracción animal y las motos de tres ruedas dado que la muestra representativa es muy pequeña y no cumple con los requisitos que estos estudios requieren para una correcta aplicación. Los resultados del estudio de intervalo se muestran en el anexo 3.

3.8 Determinación de las dimensiones de las diferentes categorías de vehículos.

Las dimensiones para cada categoría se toman de países similares a Cuba en cuanto a las características del tránsito y de investigaciones cubanas que contengan estos datos, dado que no existe un documento oficial que muestre esta información. Es preciso destacar que las dimensiones propuestas cumplen con las especificaciones establecidas en la Ley No 109, Código de Seguridad Vial.

Las dimensiones de las motos se toman del estudio de Patricia García Castañeda, en 2016. Esta investigación realizada en Colombia presenta gran similitud a las características del tránsito en Cuba; por lo que se adoptan dimensiones de longitud 1,90 m y de ancho 0,60 m. basado en que muchas de las motos que existen en Cuba presentan esas dimensiones, (Castañeda, 2016) .

Para los ciclos se toman las dimensiones expuestas en la investigación mencionada anteriormente. En este estudio se utilizan para las bicicletas, las dimensiones: 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 ligeros se toman las dimensiones: ancho de 2,10 m y largo de 5,80 m. Para los vehículos pesados: ancho de 2,60 m y largo de 9,40 m. En el caso de los ómnibus se toma: ancho de 2,60 m y largo de 9,40 m. Estos datos se obtienen del Servicio Nacional de Caminos de Bolivia que se encuentra en el “Texto del alumno. Ingeniería de tráfico” (Johnson, 2004)

En el caso de los vehículos especializados se toman las dimensiones de los vehículos pesados: ancho de 2,60 m y largo de 9,40 m. Esto se debe a que la geometría es similar en algunos de los vehículos que forman parte de estas dos categorías, por ejemplo, los vehículos destinados a la construcción (grúas, camiones hormigoneras, etc.) en su mayoría están adaptados sobre camiones. Por otro lado, dentro de los vehículos agrícolas, los tractores, que son los que predominan en las carreteras rurales, en su mayoría están acompañados por un remolque y esto los hace similares en cuanto a la geometría a los vehículos pesados.

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. Los resultados de la medición quedan de la siguiente forma: ancho de 1,40 m y largo de 4,80 m.

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

Tabla 3.6. Dimensiones para cada categoría

Categoría		Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)
Ciclos		1,90	0,45	0,86
Motos	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		4,80	1,40	6,72

Fuente: Curbelo, 2017.

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.

3.8 Determinación de los factores equivalentes para cada categoría vehicular

Los factores equivalentes se determinan en función de los resultados de las muestras de velocidad e intervalo obtenidos y de las áreas escogidas para cada categoría en la carretera seleccionada (Ver anexo 5).

A continuación se muestran los resultados de los factores equivalentes ilustrados en la tabla 3.7

Tabla 3.7. Resultados obtenidos en la carretera de Manicaragua – Santa Clara por los métodos seleccionados

Métodos		Chandra-Sikdar 2000	Demarchi-Setti 2003	Srikanth-Mehar 2016.
Categoría		Factor equivalente	Factor equivalente	Factor equivalente
Ciclos		0,14	-	-
Motos	de dos ruedas	0,12	0,15	0,10
	de tres ruedas	0,41	-	-
Ligeros		1,0	1	1,0
Pesados		2,44	2,59	2,10
Ómnibus		2,23	1,80	2,27
Equipos especializados		4,34	3,09	3,66
Vehículos de tracción animal		2,90	-	-

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.8 recoge los valores obtenidos de los factores equivalentes luego de agrupar las muestras de los tres métodos seleccionados, así como la desviación estándar y el intervalo de confianza para cada categoría analizada.

Tabla 3.8. Resultados obtenidos en la carretera de Manicaragua – Santa Clara

Categoría	Factor equivalente	Desviación estándar	Intervalo de confianza
Motos de dos ruedas	0,12	0,03	0,07-0,17
Ligeros	1,0	0,00	1,00-1,00
Pesados	2,4	0,25	1,88-2,87
Ómnibus	2,1	0,26	1,59-2,61
Equipos especializados	3,7	0,63	2,47-4,92

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los factores equivalentes para cada método muestran poca variación en cada una de las categorías analizadas. Los valores que presentan mayor desviación estándar pertenecen a los vehículos especializados, esto se debe a las diferentes velocidades con que circulan estos vehículos.

Los gráficos que se presentan a continuación, muestran el comportamiento similar de los resultados de los factores equivalentes para cada método aplicado en la carretera donde se realiza la presente investigación.

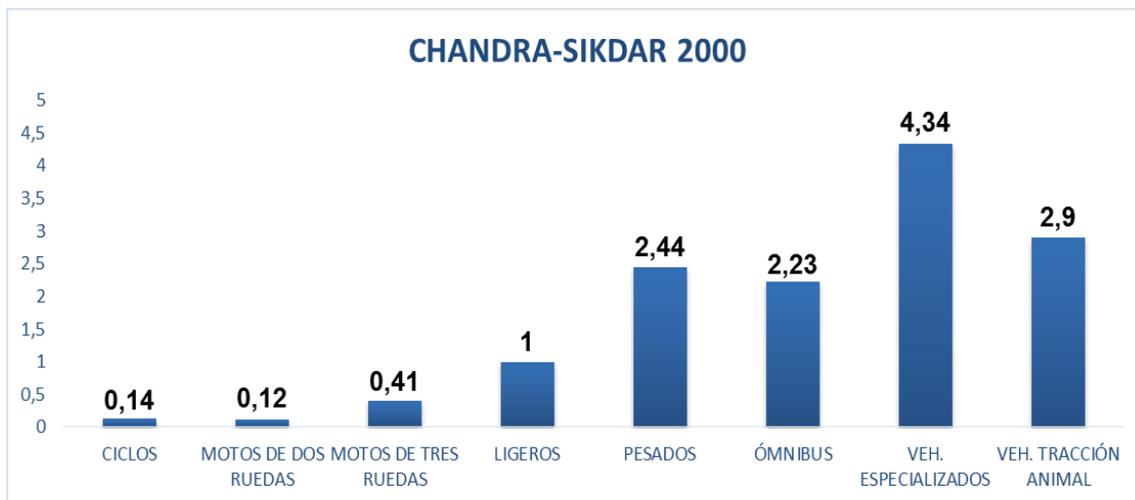


Figura 3.3 Factores equivalentes (Chandra-Sikdar,200)

Fuente: Elaboración propia

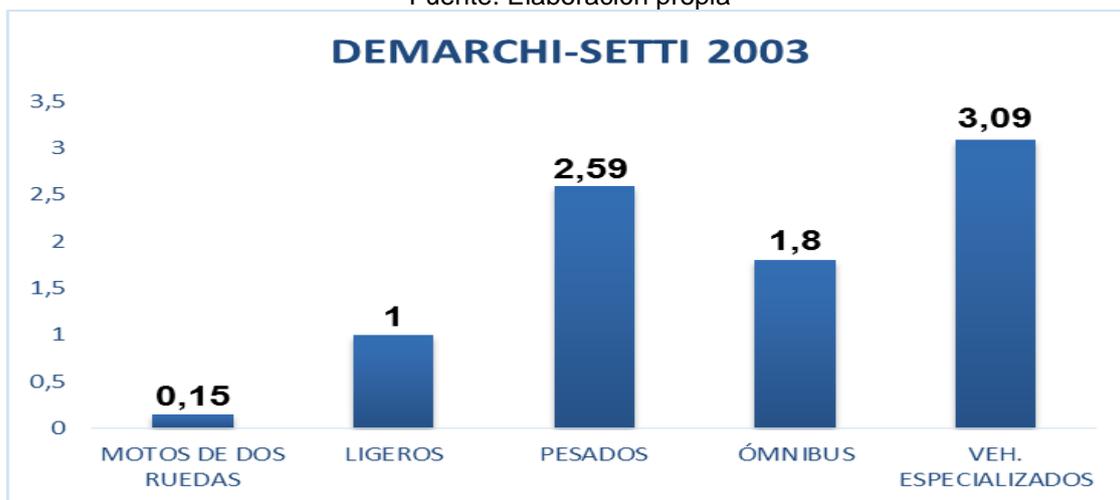


Figura 3.4 Factores equivalentes (Demarchi- Setti, 2003)

Fuente: Elaboración propia

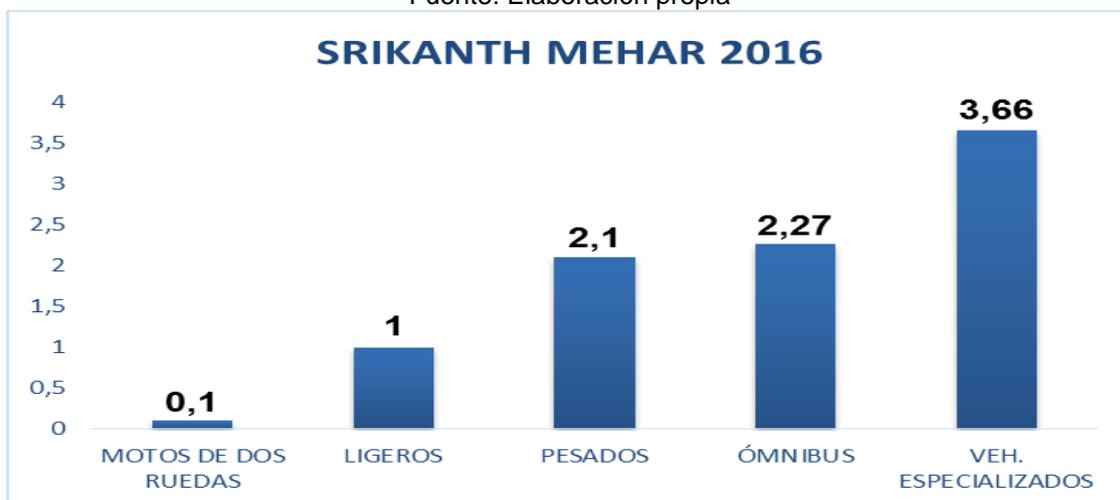


Figura 3.5 Factores equivalentes (Srikanth- Mehar,2016)

Fuente: Elaboración propia

Luego de introducir los factores equivalentes de una misma categoría, para cada una de los métodos aplicados en la carretera seleccionada, se trabaja con el programa *Statgraphics*, donde se obtiene como resultado la tabla ANOVA (Análisis de Varianza), que muestra para todas las categorías de vehículos motos de dos ruedas, pesados, ómnibus y equipos especializados la no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres variables analizadas con un nivel de confianza de 95%.

En el anexo 5 se presentan los ficheros del *Statgraphics* para todos los métodos analizados, donde además de los elementos anteriores se muestran varios indicadores, como el gráfico de medias, el intervalo de confianza de los factores equivalentes según el *Statgraphics* y el valor medio del Factor y la tabla de medias con intervalos de confianza del 95%,

Tabla ANOVA					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,170857	2	0,0854283	0,57	0,5739
Intra grupos	4,53097	30	0,151032		
Total (Corr.)	4,70182	32			

El StatAdvisor
 La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,565629, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 3.6 Tabla ANOVA para vehiculos pesados
 Fuente: Elaboración propia

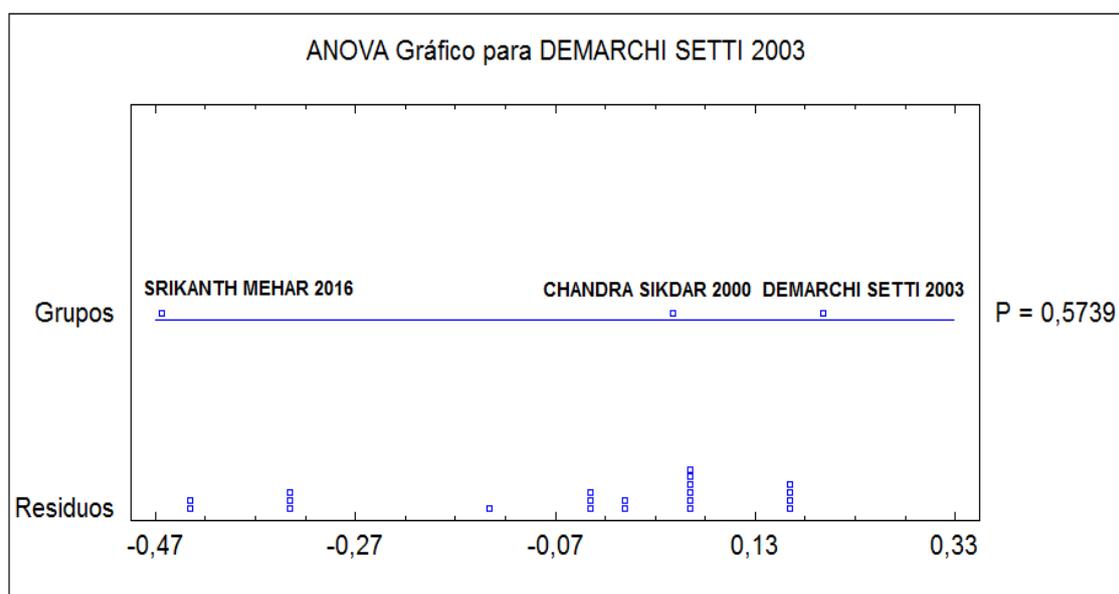


Figura 3.7 Gráfico ANOVA. para vehiculos pesados
 Fuente: Elaboración propia

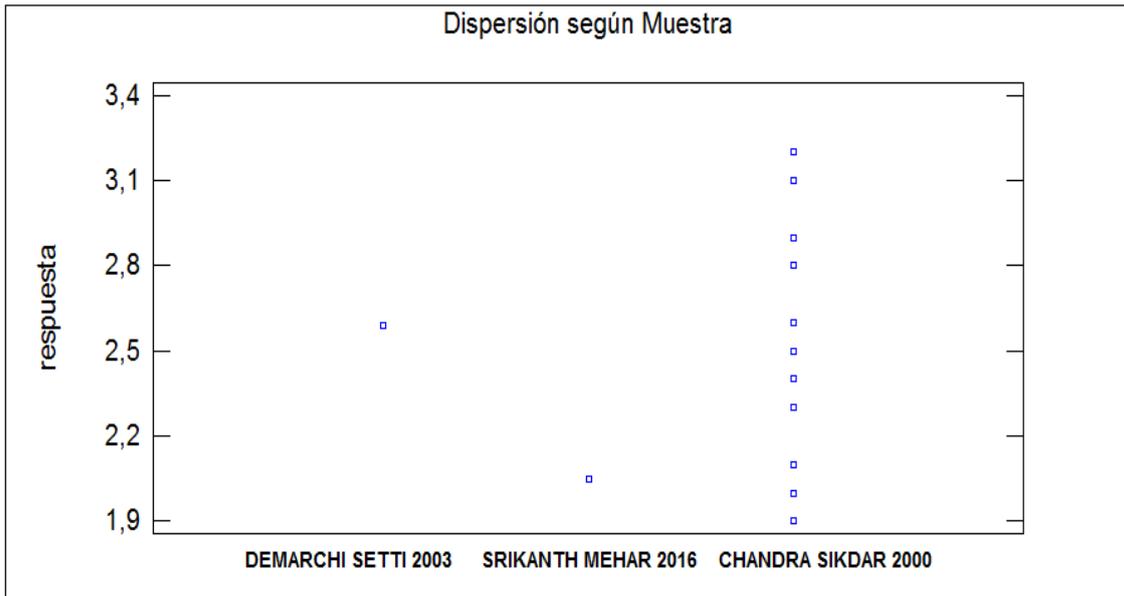


Figura 3.8 Gráfico de dispersion según muestras para vehiculos pesados
Fuente: Elaboración propia

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,61961	2	0,809806	2,51	0,1616
Intra grupos	1,93714	6	0,322857		
Total (Corr.)	3,55676	8			

El StatAdvisor
La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2,50825, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 3.9 Tabla ANOVA para equipos especializados
Fuente: Elaboración propia

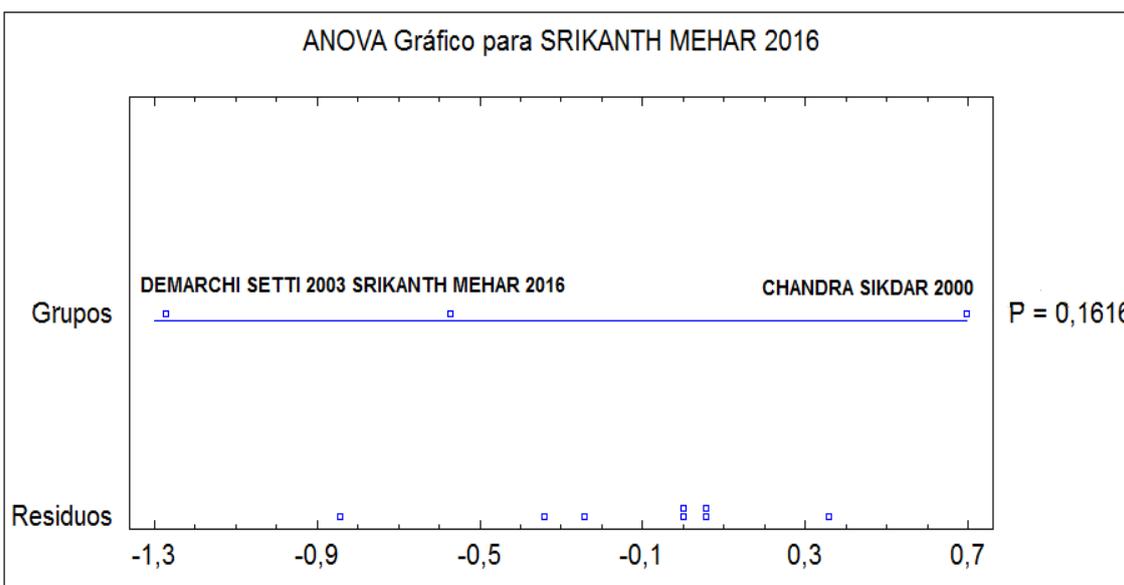


Figura 3.10 Gráfico ANOVA para equipos especializados
Fuente: Elaboración propia

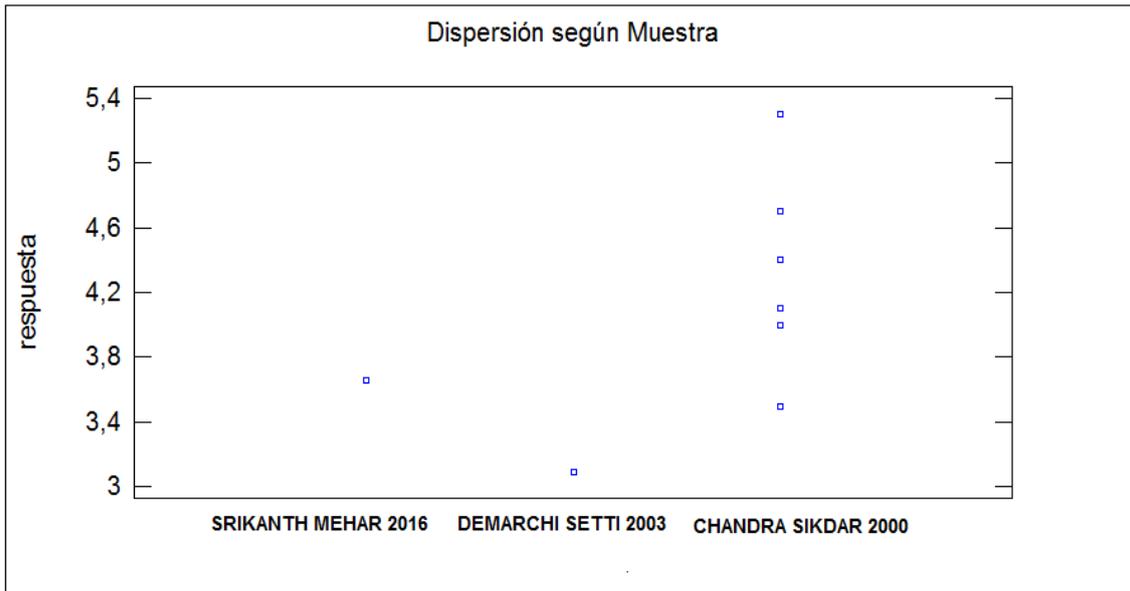


Figura 3.11 Gráfico de dispersión según muestras para equipos especializados
Fuente: Elaboración propia

Tabla ANOVA					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,159954	2	0,0799771	0,55	0,6087
Intra grupos	0,728333	5	0,145667		
Total (Corr.)	0,888287	7			

El StatAdvisor
La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,549042, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 3.12 Tabla ANOVA para omnibus
Fuente: Elaboración propia

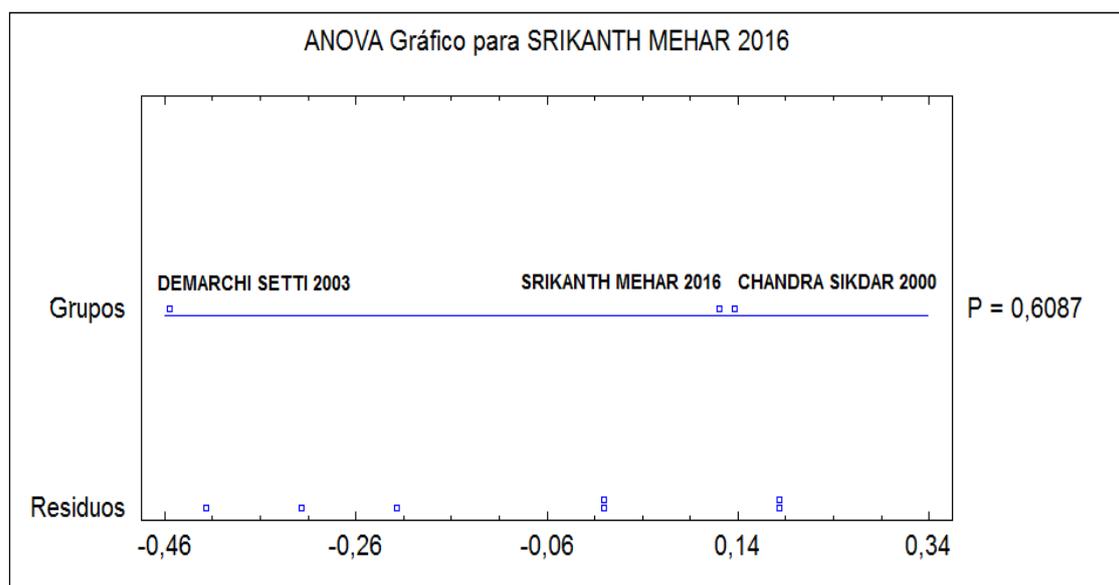


Figura 3.13 Gráfico ANOVA para omnibus
Fuente: Elaboración propia

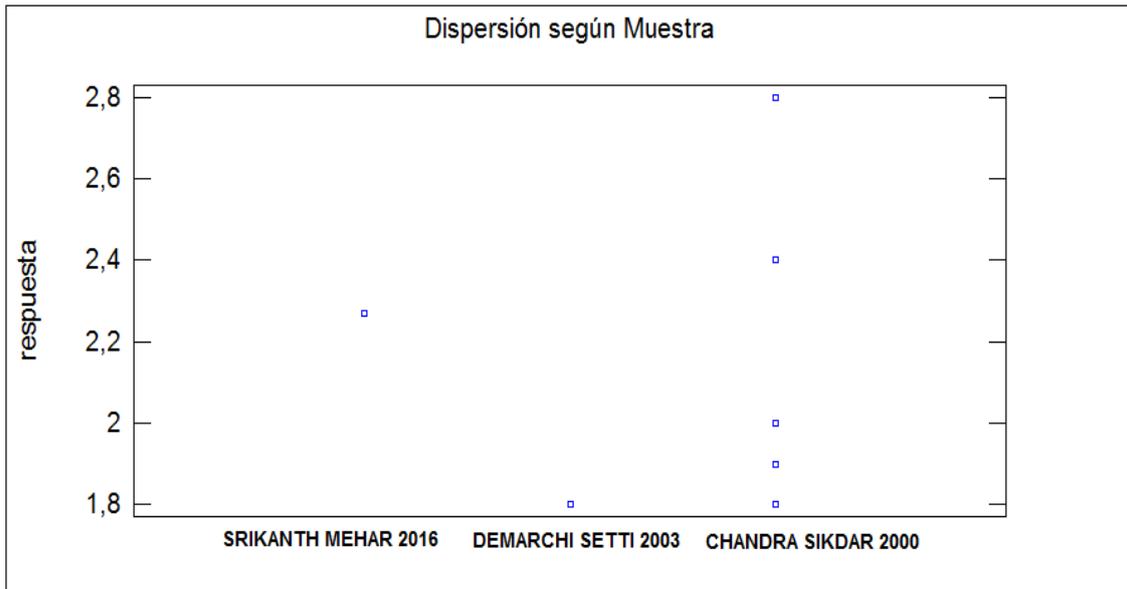


Figura 3.14 Gráfico de dispersion según muestras para omnibus
Fuente: Elaboración propia

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00146853	2	0,000734266	2,13	0,1701
Intra grupos	0,00345455	10	0,000345455		
Total (Corr.)	0,00492308	12			

El StatAdvisor
La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2,12551, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Figura 3.15 Tabla ANOVA para motos de dos ruedas
Fuente: Elaboración propia

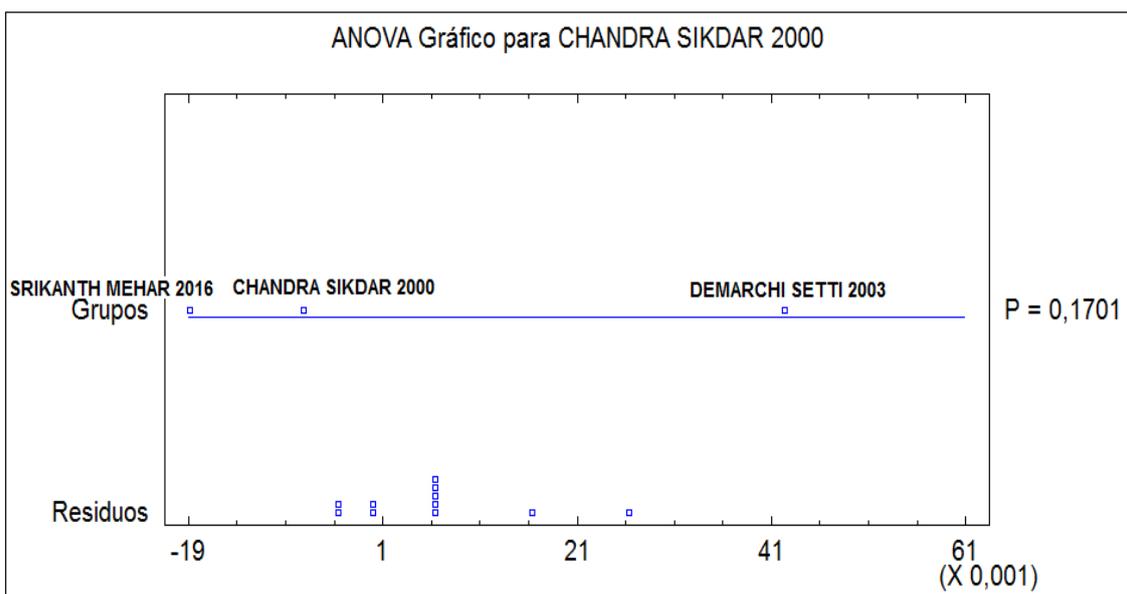


Figura 3.16 Gráfico ANOVA para motos de dos ruedas
Fuente: Elaboración propia

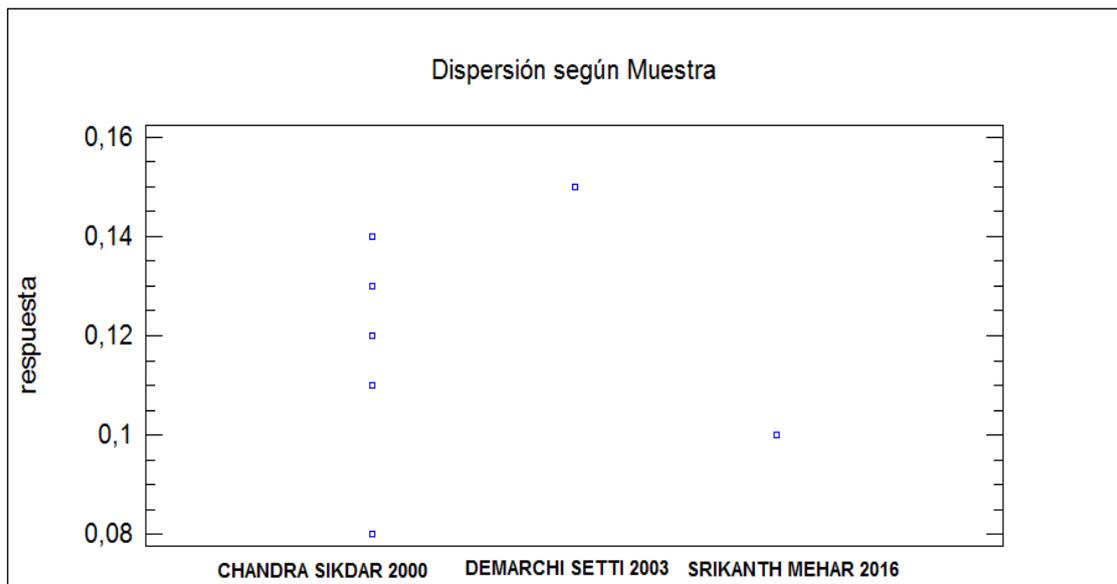


Figura 3.17 Gráfico de dispersion según muestras para motos de dos ruedas
Fuente: Elaboración propia

3.9 Análisis de los resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos para los distintos métodos aplicados en la investigación y la comparación de estos con los contemplados en la NC: 53-118-1984 además de la determinación de la influencia de los nuevos factores en los estudios de ingeniería del tránsito y algunas peculiaridades sobre los factores de equivalencia vehicular.

3.9.1 Comparación de los factores equivalentes determinados con los contemplados en la NC: 53-118-1984

Luego de la obtención de los factores de equivalencia vehicular 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).

La NC: 53-118-1984 solo muestra valores de factores equivalentes para camiones y ómnibus, en función del nivel de servicio de la carretera, el tipo de terreno y la cantidad de carriles que posee la carretera. Como en esta investigación se trabaja a partir de muestras de velocidad para cada categoría en función de los vehículos que agrupa y la velocidad se determina en tramos rectos y para flujo de circulación libre en la carretera rural de dos carriles seleccionada, se decide que los valores de la NC: 53-118-1984 que se ajustan al presente estudio están en correspondencia al nivel de servicio B, para terrenos llanos y para carreteras de dos carriles. Los valores quedan de la siguiente manera: para camiones 2,5 unidades y para ómnibus 2,0 unidades.

La tabla 3.9, 3.10 ,3.11 muestra los valores de los factores equivalentes según la NC: 53-118-1984 y los valores obtenidos en la investigación para los métodos aplicados.

Tabla 3.9. Comparación de los factores equivalentes

Categoría		Factor equivalente	
		NC: 53-118-1984	CHANDRA-SIKDAR 2000
Ciclos		-	0,14
Motos	DE DOS RUEDAS	-	0,12
	DE TRES RUEDAS	-	0,41
Ligeros		1,0	1,0
Pesados		2,5	2,44
Ómnibus		2,0	2,23
Equipos especializados		-	4,34
Vehículos de tracción animal		-	2,90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Comparación de los factores equivalentes

Categoría		Factor equivalente	
		NC: 53-118-1984	DEMARCHI-SETTI 2003
Ciclos		-	-
Motos	DE DOS RUEDAS	-	0,15
	DE TRES RUEDAS	-	
Ligeros		1,0	1
Pesados		2,5	2,59
Ómnibus		2,0	1,80
Equipos especializados		-	3,09
Vehículos de tracción animal		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11. Comparación de los factores equivalentes

Categoría		Factor equivalente	
		NC: 53-118-1984	SRIKANTH MEHAR 2016
Ciclos		-	-
Motos	DE DOS RUEDAS	-	0,10
	DE TRES RUEDAS	-	
Ligeros		1,0	1,0
Pesados		2,5	2,10
Ómnibus		2,0	2,27
Equipos especializados		-	3,66
Vehículos de tracción animal		-	-

Fuente: Elaboración propia

Se realiza en la tabla 3.12 una comparación general entre los resultados obtenidos para los métodos aplicados con los presentes en la norma cubana NC: 53-118-1984.

Tabla 3.12. Comparación de los factores equivalentes

Categoría		Factor equivalente	
		NC: 53-118-1984	Presente investigación
Ciclos		-	0,14
Motos	DE DOS RUEDAS	-	0,12
	DE TRES RUEDAS	-	0,41
Ligeros		1,0	1,0
Pesados		2,5	2,44
Ómnibus		2,0	2,18

Equipos especializados	-	4,13
Vehículos de tracción animal	-	2,90

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los valores de los factores equivalentes de la presente investigación con los contemplados en la NC: 53-118-1984 se arriba a las siguientes conclusiones:

- 1) Los factores equivalentes determinados en la presente investigación incluyen las motos de dos ruedas, los vehículos especializados, los ómnibus, y los vehículos pesados mientras que la norma cubana solo recoge los valores para camiones y ómnibus, en ambos casos en función de los vehículos ligeros.
- 2) Para los vehículos pesados, el factor equivalente es de 2,44 unidades, con una diferencia mínima de 0,6 unidades al valor planteado en la NC: 53-118-1984.
- 3) Para los ómnibus, el factor equivalente correspondiente a la presente investigación es mayor en 0,18 unidades al valor normado en la NC: 53-118-1984.

Es necesario destacar que los factores equivalentes obtenidos son similares a los determinados en Pakistán en el año 2014 para los vehículos que coinciden en ambos casos. Para los ciclos, el estudio realizado en Perú (2005) solo supera en 0,1 unidades al valor obtenido en la presente investigación y no se cuenta con antecedentes de los vehículos especializados y los vehículos de tracción animal.

3.9.2 Influencia de los nuevos factores equivalentes determinados en los estudios de ingeniería del 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 toman los 15 minutos más cargados, determinados en el aforo vehicular realizado en la carretera seleccionada. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Comparación de los factores equivalentes

Categoría	Cantidad	Vehículos equivalentes	
		NC: 53-118-1984	Presente investigación
Ciclos	3	0	1
Motos	DE DOS RUEDAS	12	0
	DE TRES RUEDAS	0	0
Ligeros	35	35	35
Pesados	21	53	51
Ómnibus	4	8	9
Equipos especializados	7	0	29
Vehículos de tracción animal	2	0	6
Total	84	96	133

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. Estos son los valores usados para los diferentes estudios de ingeniería de tránsito, puesto que representan una unidad común entre los diferentes tipos de vehículos.

La cantidad total de vehículos equivalentes es mayor según los factores determinados en la presente investigación, con una diferencia de 37 unidades, la cual es considerable para solo 15 minutos de conteo vehicular. Es preciso destacar que los factores equivalentes según la NC: 53-118-1984 se consideran de cero unidades para las categorías que no recoge la norma y esto trae como consecuencia que estas categorías tengan cero unidades de vehículos equivalentes como resultado.

3.9.3 Particularidades de los factores de equivalencia vehicular

De forma general, los factores de equivalencia vehicular, influyen en el desarrollo de investigaciones de ingeniería de tránsito y en la correcta realización de problemas estructurales para los viales, En la tabla 3.14 se resume la influencia de los factores equivalentes 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 equivalentes para ómnibus y camiones. Esto se debe a que la metodología para el cálculo nivel de servicio está según el *Highway Capacity Manual (2000)*, 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 equivalentes

Estudios o problemas	Influencia de los factores equivalentes
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 coeficientes de giro, que incluyen el factor de vehículos pesados. Para determinar el factor de vehículos pesados, son indispensables los factores equivalentes 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 equivalentes 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 carreteras de dos carriles	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 equivalentes en la carretera seleccionada para las diferentes categorías mediante la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo II.
- Los resultados obtenidos muestran valores similares para cada categoría analizada en la carretera seleccionada y según el *Statgraphics* no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los factores para un nivel de confianza de 95%.
- Los resultados de los factores equivalentes de la presente investigación son válidos para las carreteras rurales de dos carriles que acceden a Santa Clara en tramos donde la pendiente sea menor o igual que 3%.
- 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 mediante la NC: 53-118-1984.

CONCLUSIONES GENERALES

- En la presente investigación se determinaron los factores de equivalencia vehicular para las categorías propuestas por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, en una de las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara.
- Se realizó una revisión bibliográfica a nivel internacional sobre estudios de factores de equivalencia vehicular y a nivel nacional se consultaron investigaciones relacionadas con el tema, puesto que en Cuba no se cuenta con antecedentes de estudios acerca de factores equivalentes en el tránsito.
- La metodología propuesta para la determinación de los factores equivalentes es válida para el método basado en la velocidad y el área proyectada de los vehículos, el método basado en la velocidad, intervalo y área proyectada de los vehículos y el método basado en la tasa de flujo y las densidades, aunque puede usarse como referencia para la aplicación de los restantes métodos.
- A partir de criterios de interés para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara y la clasificación de las carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara según la NC 753:2010, se seleccionaron una de las principales carreteras y se realizaron aforos vehiculares durante el horario de la mañana, la selección de la muestra, así como estudios de intervalo y velocidad para cada categoría.
- Los resultados de los factores equivalentes obtenidos en la presente investigación difieren a los contemplados en la NC: 53-118-1984 principalmente dado a que en la norma cubana solo se establecen valores para ómnibus y camiones. En ambos casos el vehículo ligero se considera como la unidad equivalente.
- 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

- Realizar los estudios que determinen los factores de equivalencia vehicular en carreteras rurales multicarriles a partir de la metodología usada en la presente investigación.
- Aplicar la metodología propuesta en el capítulo II para las carreteras rurales de dos carriles que dan acceso a la ciudad de Santa Clara que no fueron campo de estudio en esta investigación y establecer diferencias y similitudes con los resultados obtenidos en el presente trabajo de diploma.
- Exponer los resultados al Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, para que sean considerados los factores equivalentes obtenidos en futuras investigaciones en carreteras rurales de dos carriles en la provincia.

• BIBLIOGRAFÍA

- "Directiva 70/156/CEE y 92/61/CEE o el Real Decreto 2140/85, 1985". (s.f.).
- "Ley No 109 Código de Seguridad Vial en Cuba". (17 de septiembre de 2010). *Gaceta Oficial de la República de Cuba. La Habana.*
- "MERCOSUR/GMC/RES N° 35/94 - ANEXO: Reglamento Armonizado. Clasificación de Vehículos," 2016. (s.f.).
- (1984). "NC: 53-118-1984 Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba," .
- "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012," 2012. (s.f.).
- (2009). "Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional en Colombia", Resolución 0744, 4 de marzo .
- 1947, G. (s.f.). *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.*
- 853-2012 (Carreteras rurales. Caracterización técnica y características geométricas del trazado directo). (s.f.).
- Adnan, M. (2014). *Passenger car equivalent factors in heterogenous traffic environment-are we using the right numbers? Procedia engineering, 77, 106-113.*
- Aerde, V., & Yagar, S. (1983). Capacity, Speed, and Platooning Vehicle Platooning Vehicle Equivalents for Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record No. 971. Transportation Research Board. Washington, DC.*
- Al-Kaisy. (2005). Developing passenger car equivalency factors for heavy vehicles during congestion. *Journal of transportation engineering.*
- Al-Obaedi, J. T. (2016). *Estimation of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Sections at Different Traffic Conditions.*
- Alva, H. L. (2010). *historia del automovil.* Perú: Imprenta Grupo IDAT .
- Cabra, P. (2014). "Determinación del factor de equivalencia de motocicletas en flujo ininterrumpido en vías con pendiente 0% de 3 carriles en Colombia".
- Cabra, P. (2014). *investigación "Determinación del factor de equivalencia de motocicletas en flujo ininterrumpido en vías con pendiente 0% de 3 carriles en Colombia".* Colombia.
- Capacity, M. H., & HCM. ((2010).). Washington D.C.
- Capacity, Speed, and Platooning Vehicle. (s.f.).
- Castañeda, P. M. (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.*
- Castelán, E. (2005). *Manual de carreteras.*

- Chandra, S., & Sikdar, P. (2000). Factors affecting PCU in mixed traffic situations on urban roads. *Road and transport research*. 40-50.
- Chávez, E. B., & Depestre, R. G. (2017). *Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales vías urbanas de Santa Clara*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Chu Cong, M., & Kazushi, S. (2001). Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, October. Volumen 5.
- Cunagin, W. D., & Messer, C. J. (1983). PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR RURAL HIGHWAYS (DISCUSSION).
- Curbelo, A., & Depestre, R. G. (2017). *Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Demarchi, S. H., & Setti, J. R. (2003). Characterization of Mass/Power Ratios of Trucks on Rural Roads in the State of São Paulo (in Portuguese). In: *Transporte em Transformação IV*, Makron Books do Brasil, São Paulo, Brazil, 2003.
- Egues, G. R. (1985). *Manual de Ingeniería de Tránsito*. Cuba.
- García, A. P., & Romero, S. A. (2016). "Evaluación de un tramo de la carretera rural Santa Clara entronque Vuelta aplicando el método "Pavement Condition Index" y los métodos cubanos". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara.
- Greenshields, B. (1947). Traffic Performance at Urban Intersections,. *Technical Report No. 1. Bureau of Highway Traffic, Yale University*.
- HCM, H. C. (2010.). *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.
- Hogendoorn, & Knoop. (2010). *Traffic flow theory and modelling*.
- Hoogendoorn, & Bovy. (2000). *State of the art of Vehicular Traffic Flow Modelling*.
- Huber, M. J. (1982). Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream (discussion and closure. *Transportation Research Record*, (869).
- Johnson, R. C. (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 General de Caminos número 4,851, del 11 de Marzo de 1930 de Chile*. (s.f.).
- (2007). *Manual de Trabajo. Ingeniería de Tránsito*. Ministerio del Interior.
- Marín, Y. G. (2015). *Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Montoya, G. (2005). *Apuntes de Ingeniería de Tránsito*. Perú.

- Rahman, M., & Nakamura, F. (2005). Measuring passenger car equivalents for non-motorized vehicle (rickshaws) at mid-block sections. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 119-126.
- Ramírez, R. M. (2004). *La industria de automoción: su evolución e incidencia social y económica* .
- Ramos, R. T. (2007). Vías, carreteras y otras calzadas: Breve historia de las mismas. *Amargence Interactive*.
- *Según el manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG 2001) aprobado por el MTC.* (s.f.).
- Shalini, K., & Kumar, B. (2014). Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.
- Spindola, R. C., & Grisales, J. C. (1994). *Ingeniería del tránsito. Fundamentos y aplicaciones*.
- Srikanth, & Mehar. (2016). *A MODIFIED APPROACH FOR ESTIMATION OF PASSENGER CAR UNITS ON INTERCITY DIVIDED MULTILANE HIGHWAYS*.
- St John, A., & Glauz, W. D. (1976). Speeds and service on multilane upgrades. *Transportation research record*, 615,. 4-9.
- Thomson, I., & Bull, A. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la cepal* .

ANEXOS

Anexo 1: Aforos vehiculares

Aforo vehicular en la carretera: MANICARAGUA - SANTA CLARA

CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO MINISTERIO DEL INTERIOR								
MININT	ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO VOLUMEN DE VEHÍCULOS CLASIFICADOS				HOJA DE CAMPO			
Lugar: km 2 al km 3 Carretera de Manicaragua					Tramo:			
Fecha: 11 de mayo de 2018				Sentido: 				
Tiempo:(7:00-9:00)				Chequeador: Lilianna Sánchez Yera				
CATEGORÍAS	HORA:							
	7:00 a 7:15	7:15 a 7:30	7:30 a 7:45	7:45 a 8:00	8:00 a 8:15	8:15 a 8:30	8:30 a 8:45	8:45 a 9:00
CICLOS	1	1	3	0	1	0	0	1
MOTOS DE 2 RUEDAS	3	4	7	4	9	4	3	3
MOTOS DE 3 RUEDAS	0	0	0	0	0	0	1	0
LIGEROS	17	13	6	16	14	15	20	10
PESADOS	5	6	9	10	10	6	9	5
ÓMNIBUS	0	0	0	2	2	1	1	0
VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL	2	1	1	1	0	1	1	0
EQUIPOS ESPECIALIZADOS	0	1	1	4	3	3	3	2
TOTALES	28	26	27	37	39	30	38	21

Aforo vehicular en la carretera: MANICARAGUA - SANTA CLARA

CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO MINISTERIO DEL INTERIOR								
MININT	ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO VOLUMEN DE VEHÍCULOS CLASIFICADOS				HOJA DE CAMPO			
Lugar: km 2 al km 3 Carretera de Manicaragua					Tramo:			
Fecha: 11 de mayo de 2018				Sentido: 				
Tiempo:(7:00-9:00)				Chequeador: : Lilianna Sánchez Yera				
CATEGORÍAS	HORA:							
	7:00 a 7:15	7:15 a 7:30	7:30 a 7:45	7:45 a 8:00	8:00 a 8:15	8:15 a 8:30	8:30 a 8:45	8:45 a 9:00
CICLOS	2	2	2	3	2	1	1	2
MOTOS DE 2 RUEDAS	5	2	5	8	8	6	2	3

MOTOS DE 3 RUEDAS	0	0	1	0	0	1	1	0
LIGEROS	16	17	20	19	23	22	15	18
PESADOS	6	4	7	12	6	5	7	11
ÓMNIBUS	0	1	0	2	0	4	2	2
VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL	0	0	2	1	0	0	0	1
EQUIPOS ESPECIALIZADOS	2	1	0	2	0	4	1	0
TOTALES	31	27	37	47	39	43	29	36

**Aforo vehicular en la carretera: MANICARAGUA - SANTA CLARA
CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO
MINISTERIO DEL INTERIOR**

MININT	ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO VOLUMEN DE VEHÍCULOS CLASIFICADOS				HOJA DE CAMPO			
Lugar: km 2 al km 3 Carretera de Manicaragua					Tramo:			
Fecha: 11 de mayo de 2018			Sentido: ambos sentidos de circulación					
Tiempo: (7:00-9:00)			Chequeador: : Lilianna Sánchez Yera					
CATEGORÍAS	HORA:							
	7:00 a 7:15	7:15 a 7:30	7:30 a 7:45	7:45 a 8:00	8:00 a 8:15	8:15 a 8:30	8:30 a 8:45	8:45 a 9:00
CICLOS	3	3	5	3	3	1	2	3
MOTOS DE 2 RUEDAS	8	6	12	12	17	10	8	6
MOTOS DE 3 RUEDAS	0	0	1	0	0	1	1	0
LIGEROS	33	30	26	35	37	37	36	28
PESADOS	11	10	16	22	16	11	15	15
ÓMNIBUS	0	1	0	4	2	5	1	2
VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL	2	1	3	2	0	1	1	0
EQUIPOS ESPECIALIZADOS	2	2	1	6	3	7	3	2
TOTALES	31	27	37	47	39	43	29	35

Anexo 2: Estudio de velocidad

Estudio de velocidad en la carretera: MANICARAGUA - SANTA CLARA

CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO MINISTERIO DEL INTERIOR									
ESTUDIO DE VELOCIDAD EN UN PUNTO									
LUGAR: km 2 al km 3 Carretera de Manicaragua					FECHA: 11 de abril de 2018				
SENTIDO: Ambos sentidos de circulación					EQUIPO USADO: cámara de video				
VELOCIDAD PARA CADA CATEGORÍA (km/h)									
	CICLOS	MOTOS		LIGEROS		PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL
		DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS						
1	33	51	52	44	90	41	66	38	15
2	31	50	59	49	72	68	54	30	12
3	34	52	56	67	64	42	54	33	13
4		51		62	60	41	74	28	11
5		73		61	58	66	70	30	
6		49		53	77	65	47	32	
7		44		52	67	53		25	
8		52		78	71	54			
9		55		74	66	56			
10		52		75	66	52			
11		73		59	70	52			
12		54		60	72	58			
13				74	85	50			
14				76	68	46			
15				75	69	48			
16				55	74	51			
17				86	70	47			
18				63	72	55			
19				45	52	63			
20				61		51			
21				66		68			
22				77		69			
23				55		70			
24				52		70			
25				47		47			
26				78		62			
27				82		52			
29				56		50			
30				45		64			
31				51		53			
32				66					
33				60					
34				66					
35				54					
36				66					
37				68					
38				58					
39				71					
40				68					
41				50					
42				86					
43				90					
44				81					

Anexo 3: Estudio de intervalo

Estudio de intervalo en la carretera: MANICARAGUA - SANTA CLARA								
CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO								
MINISTERIO DEL INTERIOR								
ESTUDIO DE INTERVALO EN UN PUNTO								
LUGAR: km 2 al km 3 Carretera de Manicaragua					FECHA: 11 de abril de 2018			
SENTIDO: Ambos sentidos de circulación					EQUIPO USADO: cámara de video			
INTERVALO PARA CADA CATEGORÍA (km/h)								
	CICLOS	MOTOS		LIGEROS	PESADOS	ÓMNIBUS	EQUIPOS ESPECIALIZADOS	VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL
		DE DOS RUEDAS	DE TRES RUEDAS					
1		3,14		1,85	2,06	1,93	1,45	
2		1,86		1,62	2,37	1,99	2,56	
3		1,65		1,91	1,50	1,34	2,75	
4		2,67		3,30	1,63	2,03	1,36	
5		1,11		1,27	2,25		2,27	
6		2,90		3,28	2,64		2,00	
7		1,77		1,40	2,62		3,13	
8		1,93		1,22	2,44			
9		2,05		1,35	3,03			
10		1,83		0,73	2,86			
11		1,98		1,58	1,25			
12		2,09		2,31	2,71			
13				1,49	2,48			
14				2,67	3,85			
15				2,28	1,30			
16				1,88	1,95			
17				1,58	2,35			
18				2,31	2,35			
19				2,18	1,45			
20				1,45	2,31			
21				2,45	2,05			
22				1,75	1,56			
23				2,36				
24				2,20				
25				2,30				
26				2,47				
27				2,58				
29				2,53				
30				1,93				
31				1,38				
32				1,49				
33				1,30				
34				1,28				
35				1,81				
36				2,10				
37				1,79				
38				1,87				
39				2,23				
40				1,48				
41				1,78				
42				1,29				

Anexo 4: 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 cinco carreteras seleccionadas

Anexo 5: Determinación de los factores equivalentes

Es una hoja de cálculo de *Microsoft Office Excel*, donde se determinan los factores equivalentes las categorías vehiculares, para cada método aplicado en la carretera seleccionada en función de la cantidad de muestras obtenidas. Además se determinan los factores para todos los métodos de forma general, con la agrupación de todas las muestras para cada categoría.

Anexo 6: Ficheros del programa Statgraphics

En este anexo se presentan los ficheros del *Statgraphics* para todas los métodos analizados, donde se muestran la tabla ANOVA, la tabla de medias con intervalos de confianza del 95%, las pruebas de múltiples rangos, el gráfico de dispersión, el gráfico ANOVA y el gráfico de medias.