**XII Simposio Internacional de Estructura y Geotecnia**

**III Coloquio de Ingeniería Vial y Obras del Transporte**

**Título**

**Metodología para la determinación de los coeficientes de equivalencia vehicular en carreteras rurales de dos carriles**

***Title***

***Methodology for the determination of the coefficients of vehicular equivalence in rural highways of two lanes.***

1- Luis Enrique Gálvez Herrera. Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”, Cuba. E-mail: luisherrera@uclv.cu

2- Rene A. García Depestre. Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”, Cuba. E-mail: renegd@uclv.edu.cu

**Resumen:** En las carreteras de Cuba circulan diferentes tipos de vehículos, para desarrollar estudios de tránsito es necesario llevar estos vehículos a una misma unidad de referencia, para ello se toman factores de equivalencia vehicular foráneos determinados para otras condiciones, lo que puede alejar los resultados de la realidad. El presente trabajo tiene como finalidad presentar una metodología que permita determinar los coeficientes de equivalencia vehicular en zonas llanas de carreteras rurales de dos carriles; la metodología empleada se adapta a las condiciones de tránsito heterogéneas imperantes en Cuba.

**Palabras Clave:** Metodología; Coeficiente de equivalencia vehicular; Carreteras rurales de dos carriles; Tráfico heterogéneo.

***Abstract:*** *In the highways of Cuba different types of vehicles circulate, to develop traffic studies it is necessary to take these vehicles to oneself reference unit, for they take it strange certain factors of vehicular equivalence for other conditions, what can move away the results of the reality. The present work has as purpose to present a methodology that allows to determine the coefficients of vehicular equivalence in flat areas of rural highways of two rails; the used methodology adapts to the heterogeneous prevailing traffic conditions in Cuba.*

***Keywords:*** *Methodology; Coefficient of vehicular equivalence; Rural highways of two lanes; Heterogeneous traffic.*

# 1. Introducción

El surgimiento y expansión de los vehículos motorizados provoca a un aumento de la congestión y la accidentalidad en las carreteras; esto genera que se realicen nuevos estudios de tránsito con el objetivo de atenuarlos. Los investigadores se percatan que para la realización de dichos estudios es imprescindible llevar cada vehículo a una misma unidad de referencia para su posterior análisis.

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). La composición del tráfico no es similar en todos los países del mundo, en Estados Unidos y en Europa Occidental circulan por las calles y carreteras fundamentalmente autos, camiones y ómnibus. En los países en vías de desarrollo el tráfico es más heterogéneo y se divide en dos grandes grupos de vehículos, motorizados y no motorizados, los cuales utilizan el mismo espacio de la carretera (Praveen & Arasan, 2013).

En Cuba el tráfico que circula por las carreteras es de naturaleza heterogénea, debido a que los vehículos poseen disimiles formas, tamaños, años de explotación, velocidades y diferentes tasas de aceleración y desaceleración. La elevada heterogeneidad del parque vehicular provoca un aumento considerable de la congestión y el mal funcionamiento de las vías (Chavez & Depestre, 2017).

Los factores de equivalencia vehicular empleados en Cuba son los que recomienda la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba). Esta norma está basada en el Manual de Capacidad de Carreteras del año 1965, el cual tiene en cuenta las condiciones de tránsito de los Estados Unidos. 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.

# 2. Metodología

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

1. Clasificar las carreteras rurales de dos carriles en el territorio
2. Seleccionar las carreteras rurales de dos carriles a utilizar en el estudio
3. Agrupar los vehículos por categorías
4. 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
1. Procesamiento de la información obtenida
2. Determinar los factores equivalentes para cada categoría
3. Análisis de los resultados obtenidos.

## 2.1 Clasificar las carreteras rurales de dos carriles en el territorio

La clasificación de las carreteras rurales de dos carriles en el territorio se realiza a partir de la clasificación funcional vigente en la NC 753:2010 (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional).

## 2.2 Seleccionar las carreteras rurales de dos carriles a utilizar en el estudio

La selección de la carretera rural de dos carriles se realizará de acuerdo a los criterios de funcionamiento del tránsito y al tipo de terreno. La NC 853:2012 (Carreteras Rurales-Categorización técnica y características geométricas de trazado directo) plantea que existen tres tipos de terreno: llano, ondulado y montañoso; en el presente trabajo solo se seleccionaran carreteras cuyo terreno sea llano. Los criterios de funcionamiento del tránsito son: el volumen de vehículos, la capacidad vehicular y los índices de accidentalidad. La selección de la carretera rural de dos carriles, 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 cuanto al funcionamiento del tránsito en el territorio analizado, planteados anteriormente.

## 2.3 Agrupar los vehículos por categorías

Para la clasificación vehicular es conveniente utilizar los criterios del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, donde las categorías son las siguientes:

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

## 2.4 Seleccionar el tamaño de la muestra en cada categoría para la determinación de los factores equivalentes a utilizar en la investigación

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 las carreteras seleccionadas y se calcula la muestra. El aforo vehicular se realizará de forma manual con apoyo de la cámara de video en las carreteras seleccionadas para el estudio.

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.

 (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%)

## 2.5 Procesamiento de la información obtenida

Un parámetro indispensable para determinar los coeficientes de equivalencia vehicular según las condiciones imperantes en Cuba es el intervalo entre dos vehículos; el cual 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 la expresión 2.2:

$$Intervalo=Brecha o claro+\frac{L\_{F}}{S\_{F}} (2.2)$$

Donde:

LF: longitud del vehículo que sigue al líder.

SF: 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 (Al-Obaedi, 2016).

Determinación de la velocidad de cada categoría de vehículos en las carreteras seleccionadas

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 (2.3).

 (2.3)

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 sicológicos que modifican el comportamiento del conductor y los artificiales, que también influyen en el comportamiento del conductor (Brilon, 2014).

La presente investigación utiliza el video como el método para la medición de la velocidad debido a que su utilización se pueden obtener resultados de gran precisión, se pueden comprobar datos que parezcan erróneos; además de captar mucha información simultánea y adicional.

## 2.6 Determinar los factores equivalentes para cada categoría

Existen varios métodos para determinar los factores de equivalencia vehicular. En la presente investigación se desarrollarán los métodos basados en la densidad y tasa de flujo, velocidad y el área proyectada de los vehículos; y en la velocidad, el área proyectada y el intervalo de los vehículos para su aplicación en las carreteras rurales de dos carriles seleccionadas.

Para desarrollar el método basado en la densidad y en la tasa de flujo se utilizará el propuesto por (Demarchi & Setti, 2003), para la obtención de los factores de equivalencia vehicular se utiliza la expresión 2.4.

$E\_{i}=\frac{1}{∆p}\*\left[\frac{q\_{B}}{q\_{S}}-\frac{q\_{B}}{q\_{M}}\right]+1$ (2.4)

Donde:

$∆p$: Es la proporción de vehículos analizados en la corriente del tráfico mixto.

(qB)= Tasa de flujo básico

(qM)=Tasa de flujo mixto

(qS)= Tasa de flujo que contiene más de un tipo de vehículos pesados

El método basado en la velocidad y el área proyectada de los vehículos se desarrolla por la metodología establecida por (Chandra & Sikdar, 2000). El factor de equivalencia vehicular es calculado utilizando la expresión (2.5)

$$CEV=\frac{Vc/Vi}{Ac/Ai} (2.5)$$

Donde:

CEV: Coeficiente de equivalencia vehicular

Vc: Velocidad del vehículo ligero

Vi: Velocidad del vehículo i

Ac: Área rectangular del vehículo ligero

Ai: Área rectangular del vehículo i

Para desarrollar el método basado en la velocidad, el área proyectada y el intervalo de los vehículos se utiliza el propuesto por (Srikanth & Mehar, 2016), el cual plantea la expresión 2.6 para determinar el coeficiente de equivalencia vehicular:

$$CEV\_{i}=F\_{v}\*F\_{h}\*F\_{a} (2.6)$$

Donde:

CEV: Coeficiente de equivalencia vehicular

Fv: Factor velocidad del vehículo tipo i.

Fh: Factor intervalo del vehículo tipo i.

Fa: Factor área proyectada del vehículo tipo i.

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

1. El factor equivalente medio según la expresión (2.7)

$$F. eq.medio=\frac{∑F}{N} (2.7)$$

Donde:

F. eq.medio: Factor equivalente medio

F: Factores equivalentes calculados

N: Número de factores equivalentes calculados

1. La desviación estándar según la expresión (2.8)

$$S=\sqrt{\frac{∑(F. eq.medio-F)²}{N-1} } (2.8)$$

Donde:

S: Desviación estándar

F eq.medio: Factor equivalente medio

F: Factores equivalentes calculados

N: Número de factores equivalentes calculados

1. El intervalo de confianza según la expresión (2.9)

$$ I=F. eq.medio\pm S\*K (2.9)$$

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 y Grisales, 1994](#_ENREF_29)).

## 2.7 Análisis de los resultados obtenidos

Después de la determinación de los factores de equivalencia vehicular para las carreteras rurales de dos carriles seleccionadas, se procede al análisis de estos y a 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 factores equivalencia vehicular que no son contemplados en la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba) en los estudios de ingeniería de tránsito.

# 3. Conclusiones

1- A nivel internacional existen varias metodologías para determinar los factores de equivalencia vehicular, las cuales no incluyen un coeficiente de equivalencia vehicular para vehículos como los ciclos, triciclos, motonetas y vehículos de tracción animal, medios de transporte muy utilizados en países en vías de desarrollo.

2- En Cuba se emplean los factores de equivalencia vehicular que recomienda la NC: 53-118-1984 la cual posee más de treinta años de elaborada 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 del país.

3- La metodología propuesta en la presente investigación permite determinar los coeficientes de equivalencia vehicular adaptada a las condiciones de tránsito heterogéneas imperantes en Cuba en vías rurales de dos carriles en zona llana, a partir del método de la densidad y la tasa de flujo, del método de la velocidad y el área proyectada y del método de los intervalos, la velocidad y el área proyectada.

# Referencias bibliográficas

Brilon, W. (2014). *Traffic Flow Analysis Beyond Traditional Methods.* Ruhr-University Bochum. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/238752601

Chandra, S., & Sikdar, P. (2000). Factors affecting PCU in mixed traffic situations on urban roads. Road and transport research. 40-50.

Chavez, 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 , Departamento de Ingeniería Civil , Santa Clara.

Demarchi, S. H., & Setti, J. R. (2003). Limitations of PCE Derivation for Traffic Streams with More Than One Truck Type. *TRB 2003 Annual Meeting.*

*Highway Capacity Manual.* (2010). Washington D.C.

Ley 109 (2010). *Código de Seguridad Vial.* La Habana.

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

NC:753. (2010). *Carreteras-Vías rurales-Clasificación funcional.* La Habana, Cuba.

NC:853. (2012). *Carreteras rurales-Categorización técnica y características geométricas del trazado directo.* La Habana, Cuba. Obtenido de www.nc.cubaindustria.cu

Praveen, P. S., & Arasan, V. T. (May de 2013). INFLUENCE OF TRAFFIC MIX ON PCU VALUE OF VEHICLES UNDER HETEROGENEOUS TRAFFIC CONDITIONS. *International Journal for Traffic and Transport Engineering, III*(3), 302-330. Obtenido de http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2013.3(3).07

Spindola, R. C., & Grisales, J. C. (1994). *Ingeniería del tránsito. Fundamentos y aplicaciones.*

Srikanth, S., & Mehar, A. (2016). *A MODIFIED APPROACH FOR ESTIMATION OF PASSENGER CAR UNITS ON INTERCITY DIVIDED MULTILANE HIGHWAYS.* National Institute of Technology, Department of Civil Engineering, Telangana.

Yousif, S., & Al-Obaedi, J. (2011). Close Following Behavior: Testing Visual Angle Car Following Models Using Various Sets of Data. *Transportation Research*, 96-110. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2010.11.001