**Simposio Internacional de Construcciones de la Convención CCI-UCLV 2021**

**Tema 4. Ingeniería vial y obras del transporte**

**Título**

**Procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles.**

***Title***

**Procedure to determine the average travel speed in two lane roads.**

**Msc. Luis Enrique Galvez Herrera1, Dr. René García Depestre2**

1-Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, luisherrera@uclv.edu.cu

2-Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, renegd@uclv.edu.cu

# Resumen:

Cuba posee una vasta red de carreteras rurales de dos carriles. Conocer el nivel de servicio al cual operan es imprescindible para determinar la calidad de circulación y las condiciones de operación de estas vías. La determinación del nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles depende de dos parámetros, la velocidad promedio de viaje y el porciento de tiempo perdido en seguimiento. La metodología que se utiliza en Cuba para determinar la velocidad promedio de viaje es la establecida por el Manual de Capacidad de Carretera de los Estados Unidos (*HCM*, por sus siglas en inglés) el cual no se adapta a las condiciones de circulación existentes en Cuba, debido a esto se decide realizar un procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en las carreteras rurales de dos carriles. El procedimiento propuesto plantea realizar estudios de volumen y velocidad a flujo libre, para posteriormente determinar los automóviles equivalentes con el objetivo de desarrollar un modelo de velocidad vs flujo vehicular, el cual permita definir los valores de velocidad promedio de viaje para las diferentes condiciones de operación establecidas en el nivel de servicio.

***Abstract:***

*Cuba possesses a suffice net of rural highways of two lane. To know the level of service to which it operates is indispensable to determine the circulation quality and the conditions of operation of these roads. The determination of the level of service in rural highways of two lane depends on two parameters, the average travel speed and the percent time spend follows. The methodology used in Cuba to determine the average travel speed is the established on the Highways Capacity Manual (HCM) which doesn't adapt to the existent circulation conditions in Cuba, due to this it decides to carry out a procedure to determine the average travel speed in the rural highways of two lane. The proposed procedure outlines to carry out studies of volume and speed to free flow, it stops later on to determine the equivalent automobiles with the objective of developing a model of speed vs vehicular flow, which allows to define the values of speed trip average for the established different operation conditions in the level of service.*

**Palabras Clave:** Velocidad promedio de viaje; Carreteras rurales de dos carriles; Procedimiento; Modelo de flujo de tráfico.

***Keywords:*** *Average travel speed;* *Rural highways of two lane; Procedure; Traffic flow model.*

# 1. Introducción

Una carretera rural de dos carriles puede definirse como una calzada que tiene un carril para cada sentido de circulación. Su particularidad más importante es que el adelantamiento a los vehículos más lentos requiere utilizar el carril del sentido opuesto siempre que la distancia de visibilidad y los intervalos de circulación en dicho sentido lo permitan. Esto significa que las características geométricas que restringen la distancia de visibilidad de adelantamiento también lo hacen en la capacidad (Highway Capacity Manual, 2000).

El nivel de servicio es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de carretera ([Palma Álvarez, 2006](#_ENREF_12)). Este concepto se utiliza para medir la calidad del flujo vehicular, por tanto, el nivel de servicio no es más que una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular.

La determinación del nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles depende de dos parámetros, la velocidad promedio de viaje y el porciento de tiempo perdido en seguimiento.

En Cuba la determinación de la velocidad promedio de viaje para carreteras rurales de dos carriles se realiza por la metodología establecida en el Manual de Capacidad de Carretera de los Estados Unidos (*HCM*, por sus siglas en inglés). Estados Unidos al ser un país desarrollado posee un tráfico homogéneo compuesto principalmente por automóviles, camiones y ómnibus.

Cuba al ser un país en vías de desarrollo posee un tráfico heterogéneo, debido a que los vehículos poseen disimiles formas, tamaños, años de explotación, velocidades y diferentes tasas de aceleración y desaceleración. Además, en una misma vialidad podemos encontrar vehículos motorizados y vehículos no motorizados o vehículos de marcha lenta. Los vehículos motorizados son los automóviles, ómnibus, camiones, motos de dos y tres ruedas y motocicletas; mientras que los vehículos no motorizados o de marcha lenta incluyen bicicletas, triciclos y vehículos de tracción animal. La elevada heterogeneidad del parque vehicular provoca un aumento considerable de la congestión y el mal funcionamiento de las vías.

Por lo anteriormente expuesto se constata que la metodología empleada en Cuba para determinar la velocidad promedio de viaje de como resultado valores lejos de la realidad. La presente investigación tiene como objetivo establecer un procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles en Cuba.

# 2. Metodología

En este epígrafe se plantea de forma detallada, un procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles. Para lo que se propone la secuencia de pasos a seguir:

1. Selección de la carretera rural de dos carriles a analizar en el estudio.
2. Selección de los segmentos de la carretera a analizar.
3. Realización de los estudios de Ingeniería de Transito.
4. Determinación de los autos equivalentes.
5. Determinación de la velocidad promedio de viaje.
6. Análisis de los resultados obtenidos.

## 2.1 Selección de la carretera rural de dos carriles a analizar en el estudio.

La selección de la carretera rural de dos carriles se realiza de acuerdo a los criterios de funcionamiento del tránsito. 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 la NC 853:2012 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. Es posible la selección de una carretera por interés de los explotadores o autoridades del territorio.

## 2.2 Selección de los segmentos de la carretera a analizar.

Dada la imposibilidad de realizar el estudio en toda la vía seleccionada se hace imprescindible tramificar la vía y seleccionar segmentos de la misma. Los segmentos del tramo escogido se seleccionan en función de las características geométricas de la infraestructura vial y las condiciones del tránsito.

## 2.3 Realización de los estudios de Ingeniería de Transito.

Los estudios de ingeniería de transito tienen entre sus principales objetivos obtener información relacionada con el movimiento de vehículos en determinados puntos o secciones de la red vial y conocer su velocidad de circulación. En la presente investigación los estudios de tránsito a desarrollar para determinar la velocidad promedio de viaje son aforos vehiculares y estudios de velocidad en la carretera seleccionada.

## 2.4 Determinación de los autos equivalentes.

La realización de aforos vehiculares permite obtener los volúmenes de tránsito de la carretera analizada, dichos volúmenes se encuentran divididos por categoría de vehículos. Realizar estudios de tránsitos conlleva transformar cada vehículo aforado a una misma unidad de referencia.

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).

Los factores de equivalencia vehicular poseen una significativa importancia en el tema de ingeniería del tránsito, ya que estos factores son utilizados en muchos métodos de análisis como los estudios de capacidad, la determinación de tasa de flujo y los modelos de flujo de tráfico, los cuales son desarrollados teniendo en cuenta la homogeneidad en las condiciones del tráfico (AL-KAISY, 2006).

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 (Galvez & Depestre, 2019).

La tabla 2.1 muestra una comparación de los coeficientes de equivalencia vehicular presentes de la NC: 53-118-1984 (Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba) y los obtenidos por Galvez & Depestre, 2019.

**Tabla 2.1. Comparación de los coeficientes de equivalencia vehicular presentados por la NC:53-118-1984 y Galvez & Depestre, 2019.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Categoría** | **Factor equivalente** |
| **NC: 53-118-1984** | **Presente investigación** |
| **Ciclos** | **-** | 0,30 |
| **Motos** | **DE DOS RUEDAS** | **-** | 0,20 |
| **DE TRES RUEDAS** | **-** | 0,50 |
| **Ligeros** | 1,0 | 1,00 |
| **Pesados** | 2,5 | 2,60 |
| **Ómnibus** | 2,0 | 2,40 |
| **Equipos especializados** | - | 5.20 |
| **Vehículos de tracción animal** | - | 3,00 |

Fuente: (Galvez & Depestre, 2019)

Al analizar la tabla 2.1 se puede decir que los coeficientes de equivalencia vehicular obtenidos por Galvez & Depestre, 2019 incluyen a todos los tipos de vehículos que circulan actualmente en Cuba, mientras que la norma cubana solo recoge los valores para camiones y ómnibus. Además, los resultados alcanzados por Galvez & Depestre, 2019 para vehículos pesados y ómnibus, no poseen grandes diferencias a los existentes en la NC: 53-118-1984. Debido a los anteriormente planteado se deciden utilizar en la presente investigación los coeficientes de equivalencia vehicular obtenidos por Galvez & Depestre, 2019 para transformar los volúmenes mixtos aforados en automóviles equivalentes.

## 2.5 Determinación de la velocidad promedio de viaje.

La relación entre la tasa de flujo y la velocidad media espacial es fundamental para determinar la capacidad, el nivel de servicio y por consiguiente la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles. Lo esfuerzos por relacionar la tasa de flujo, la densidad y la velocidad media espacial han provocado el desarrollo de modelos macroscópicos los cuales consideran un movimiento homogéneo y describen las características generales del flujo vehicular (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 1994).

Greenshields a partir de la ecuación fundamental del flujo vehicular (ecuación 2.1) desarrolla una relación para dichos parámetros y propone una relación lineal entre la velocidad y la densidad, la cual se muestra en la ecuación 2.2.

$q=\overbar{V\_{e}}\*k$……….. ……. ecuación 2.1

Donde:

q: tasa de flujo (veh/h)

$\overbar{V\_{e}}$: Velocidad media espacial (km/h).

k: Densidad (veh/km/carril).

$\overbar{V\_{e}}=V\_{l}-\left(\frac{V\_{l}}{k\_{c}}\right)\*k$………… ecuación 2.2

Donde:

$V\_{l}$: Velocidad media espacial a flujo libre (km/h).

kc: Densidad de congestionamiento (veh/km/carril).

La relación entre la tasa de flujo y densidad se obtiene despejando la ecuación 2.3 en la ecuación fundamental del flujo vehicular, obteniéndose la ecuación 2.1.

$q=V\_{l}\*k-\left(\frac{V\_{l}}{k\_{c}}\right)\*k^{2}$………… ecuación 2.3

La relación entre la velocidad media espacial y la tasa de flujo se obtiene despejando la densidad (k) en la ecuación 2.2, como se muestra en la ecuación 2.4. La ecuación 2.4 se sustituye en la ecuación 2.1 y despejando la velocidad media espacial se obtiene la ecuación 2.5.

 $k=k\_{c}-\left(\frac{k\_{c}}{V\_{l}}\right)\*\overbar{V\_{e}}$………… ecuación 2.4

$\overbar{V\_{e}}=\frac{V\_{l}}{2}\pm \frac{\sqrt{V\_{l}^{2}-4\*\left(\frac{V\_{l}}{k\_{c}}\right)\*q}}{2}$………… ecuación 2.5

La ecuación 2.4 indica que entre la velocidad media espacial y la tasa de flujo existe una relación parabólica donde para un valor determinado de flujo hay dos valores de velocidad media espacial. A partir de la ecuación 2.5 se construye un gráfico tasa de flujo vs velocidad media espacial en el cual se obtiene la velocidad promedio de viaje.

A partir de la construcción de la gráfica de tasa de flujo vs velocidad media espacial y utilizando la relación volumen/capacidad se puede determinar el tipo de flujo al que opera la vía analizada y por consiguiente se puede establecer el nivel de servicio. (Jayaratne, Rushan, & Pasindu, 2016) plantean una relación volumen/capacidad para cada tipo de flujo, la cual se muestra en la tabla 2.2. En la presente investigación se va a utilizar la relación volumen/capacidad propuesta en la tabla 2.2 para determinar el tipo de flujo al cual opera la carretera analizada.

**Tabla 2.4. Criterios de Nivel de Servicio.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nivel de Servicio | Tipo de flujo | Relación Volumen/Capacidad |
| A | Flujo libre | <0,16 |
| B | Razonablemente flujo libre | 0,16-0,59 |
| C | Flujo estable | 0,59-0,86 |
| D | Cercano al flujo inestable | 0,86-0,96 |
| E | Flujo inestable | 0,96~1,00 |

Fuente: (Jayaratne, Rushan, & Pasindu, 2016)

## 2.6 Análisis de los resultados obtenidos.

A partir de la construcción de la gráfica de tasa de flujo vs velocidad media espacial y la obtención de la velocidad promedio de viaje, se procede a determinar la velocidad promedio de viaje utilizando la metodología establecida en el Manual de Capacidad de Carreteras (*HCM*) versión 2010 para carreteras rurales de dos carriles. Los resultados alcanzados deben ser analizados y se debe arribar a conclusiones sobre la eficacia del procedimiento expuesto en el presente capítulo.

# 3. Conclusiones

* A nivel internacional existen varias metodologías para determinar la velocidad promedio de viaje para tráfico heterogéneo en carreteras rurales de dos carriles, destacándose (Jayaratne, Rushan, & Pasindu, 2016) y (Chisty, Islam, & Misuk, 2014), las cuales utilizan modelos del flujo vehicular.
* En Cuba para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles se utiliza el Manual de Capacidad de Carretera, el cual se adapta a las condiciones de circulación homogéneas imperantes en Estados Unidos, donde no se toma en cuenta la existencia de vehículos como los ciclos, triciclos, motonetas y vehículos de tracción animal, medios de transporte muy utilizados en Cuba.
* El procedimiento propuesto en la presente investigación permite determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles adaptada a las condiciones de tránsito heterogéneas imperantes en Cuba, mediante de la relación entre la tasa de flujo y la velocidad media espacial utilizando el modelo lineal de Greenshields.

# 4. Referencias Bibliográficas

AL-KAISY, A. (MARCH de 2006). Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles at Freeways and Multilane Highways: Some Critical Issues. *ITE JOURNAL*, 40-43.

Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (1994). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones* (7ma ed.). México: Alfaomega.

Chisty, K. U., Islam, M. A., & Misuk, S. (2014). Determination of Level of Service of Agrabad to CEPZ Road at Chittagong in Bangladesh. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 2021-2024.

Galvez, L., & Depestre, R. G. (2019). Metodología para la determinación de los coeficientes de equivalencia vehicular en carreteras rurales de dos carriles. *II Convención Científica Internacional UCLV 2019.* Villa Clara.

Highway Capacity Manual. (2000). TRB Special Report 209. 3rd Edition. Transportation Research Board. 634 p.

Jayaratne, N., Rushan, P., & Pasindu, H. (2016). Evaluation of level of service for two-lane roads in Siri-lanka.

Oficina Nacional de Normalización. (1984). *NC:53-118-1984 "Método de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en Cuba".* NORMA CUBANA, Ciudad de La Habana.

Oficina Nacional de Normalización. (2010). *NC:753:2010 "Carreteras-Vías rurales-Clasificación funcional".* Ciudad de La Habana.

Oficina Nacional de Normalización. (2012). *NC:853-2012 "Carreteras rurales-Categorización técnica y características geométricas del trazado directo".* Ciudad de La Habana.