

Variación temporal de los factores de hora pico y volumen horario en carreteras de dos carriles. Caso de estudio: vía Loja - Zamora

Belizario Amador Zárate Torres
María Soledad Segarra Morales

Autor para correspondencia: bazarate@utpl.edu.ec
Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil. Universidad Técnica Particular de Loja

Manuscrito recibido el 5 de junio de 2014
Aprobado tras revisión el 10 de febrero de 2015

RESUMEN

Uno de los principales objetivos de los estudios de tráfico es determinar la circulación vehicular existente en un tramo de estudio; generalmente se trabaja con magnitudes principales como son el volumen y la velocidad, derivándose de estas otras magnitudes importantes como son: los factores de hora pico conocidos, también por sus siglas en inglés PHF. En este trabajo se analiza la variación temporal de los factores de hora pico o PHF en carreteras de dos carriles de una zona rural y la relación existente con los volúmenes horarios de siete días continuos de 24 horas. Los datos fueron recolectados mediante el empleo de un contador de tipo neumático MetroCount modelo MC5600 plus instalado en la vía Loja-Zamora, al sur del Ecuador. Para la obtención de resultados, se utilizó la metodología planteada por HCM-2000, los mismos que revelaron que los factores de hora pico, así como la relación con el volumen vehicular, son similares y consistentes a los obtenidos en estudios realizados en otros países.

Palabras claves: factor de hora pico, contador vehicular, volumen de tráfico.

ABSTRACT

One of the main objectives of traffic studies is to determine the existing vehicular traffic on a particular stretch of highway under study. Key figures such as the volume and speed are usually worked with, and from these other important variables such as: peak hour factors also known by its acronym PHF are derived. This study analyzes the temporal variation of PHF for a two lane highway in a rural area and the relationship with the hourly volumes for seven continuous days of 24 hours. Data was collected by using a pneumatic counter, the MetroCount model MC5600 plus, installed in the Loja-Zamora road, in southern Ecuador. The methodology proposed by HCM-2000 was used to gather the data. The data revealed that peak hours and the relationship with the vehicular volume are similar and consistent with those obtained in studies conducted in other countries.

Keywords: peak hour factor, vehicular counter, traffic volume.

INTRODUCCIÓN

La circulación de vehículos por una red de carreteras es un sistema dinámico que varía constantemente por la interacción de varios factores, entre ellos, vehículo, conductor y entorno. Esta interacción establece parámetros que permiten comprobar el estado del tráfico vehicular y con ello determinar los mecanismos para mejorar las condiciones de circulación. Esto se logra mediante estudios de tráfico que generalmente emplean ciertas magnitudes que permiten conocer el comportamiento de la circulación vehicular respecto a su entorno; entre las más frecuentes se halla la intensidad (volumen) y la velocidad (Di Leo, Pietrosanto y Sommella, 2009), con ello se establecen ciertos parámetros derivados como son los factores de hora pico, también conocidos como PHF (*Peak Hour Factor*), y la intensidad vehicular.

El PHF es utilizado para análisis de capacidad y nivel de servicio; de igual forma, para propósitos de planificación y diseño es necesario evaluar el factor de hora pico para los volúmenes proyectados al periodo de diseño de la carretera.

El avance de la tecnología relacionado a análisis de tráfico ha permitido el registro automatizado de volúmenes, velocidades, composición vehicular, etc., (Marwah y Singh, 2003) en periodos continuos de tiempo; entre los más utilizados se destacan: sensores de tipo neumático, *loops* magnéticos, sistemas láser, entre otros (Xiang, Otto y Wen, 2008; Garber y Hoel, 2004). Muchos países, entre ellos, Estados Unidos emplean sensores de tipo neumático y *loops* magnéticos (con nivel de satisfacción del 98% y 100% respectivamente) para el monitoreo continuo en carreteras de bajo y alto tráfico (Jasrotia, 2011; Fox y Clark, 1998).

En algunas provincias y cantones del Ecuador no se cuenta con registros históricos (mensuales y/o anuales) del tráfico de las redes viales, lo que conlleva que la mayoría de los diseños viales y de su infraestructura se lleve a cabo con procedimientos obsoletos como conteos manuales en periodos cortos de tiempo, que no son lo suficientemente representativos a diferencia de los conteos automáticos que registran la información en forma continua.

Las provincias de Loja, Zamora, Chinchipe y El Oro forman parte de la zona siete ubicada al sur del Ecuador, potencialmente minera con reservas de oro, plata y cobre. De acuerdo al Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 (2013), una de las principales líneas de acción del estado ecuatoriano es consolidar la producción de sectores estratégicos como la minería, a través de inversiones en infraestructura, de tal manera que se faciliten los canales de comercialización. Este cambio del uso del suelo no previsto en la etapa de diseño de la vía en estudio ha provocado una alteración en el comportamiento del flujo vehicular, por lo que es necesario disponer de una línea base que permita medir las fluctuaciones temporales del tráfico y predecir el comportamiento en su capacidad vial y nivel de servicio.

El objetivo del presente trabajo investigativo es establecer la variación temporal de los factores de hora pico y de los volúmenes de tráfico, de la información almacenada en contadores de tráfico de tipo neumático de una estación de control primaria, en la vía que une las capitales de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, que constituye una carretera con características topográficas notables al resto de redes viales de la zona (pendiente media transversal mayor a 40°).

MATERIALES Y MÉTODOS

La vía de estudio se encuentra ubicada al sur del Ecuador y une las provincias de Loja y Zamora Chinchipe; corresponde a la vía colectora E-50 de la Red Vial Estatal. Tiene una longitud de 60.7 km, un ancho de calzada de 3.65 m, espaldones de 0.60 m, pendiente media longitudinal de 5.1% correspondiente a un terreno montañoso.

Para la recopilación de la información se estableció una estación de control primaria ubicada a 5.3 km respecto a Loja, en donde se instaló un contador vehicular MetroCount modelo MC5600 plus de tipo neumático provisto de dos sensores; su fuente de poder está compuesta por cuatro baterías alcalinas que generan un voltaje constante de 6V; la memoria interna del equipo es de 2 mb, con el cual se pueden almacenar hasta quinientos mil ejes de forma continua. Dentro de las funcionalidades del equipo, permite seleccionar sistema de clasificación vehicular, que para el presente estudio se eligió el ARX (*AUSTROADS Vehicle Classification System*), que permite tipificar 12 clases de vehículos (Tabla 1).

Tabla 1. Detalle del esquema de clasificación vehicular ARX

| Ejes | Grupo | Descripción | Clase | | Parámetro |
|-------------|----------|--|-------|----|--|
| 2 | 1 o 2 | Bicicleta o motocicleta | MC | 1 | $d(1) < 1.7m$ y eje=2 |
| 2 | 1 o 2 | Automóviles | SV | 2 | $d(1) \geq 1.7m$, $d(1) \leq 3.2m$ y eje=2 |
| 3, 4 o 5 | 3 | Vehículos recreativos | SVT | 3 | grupos = 3, $d(1) \geq 2.1m$, $d(1) \leq 3.2m$, $d(2) \geq 2.1m$ y eje= 3,4,5 |
| 2 | 2 | Camión de dos ejes o bus | TB2 | 4 | $d(1) > 3.2m$ y eje = 2 |
| 3 | 2 | Camión de tres ejes o bus | TB3 | 5 | eje = 3 y grupos = 2 |
| >3 | 2 | Camión de cuatro ejes | T4 | 6 | ejes > 3 y grupos = 2 |
| 3 | 3 | Vehículo articulado de tres ejes o vehículo rígido o trailer | ART3 | 7 | $d(1) > 3.2m$, ejes =3 y grupos = 3 |
| 4 | >2 | Vehículo articulado de cuatro ejes o vehículo rígido o trailer | ART4 | 8 | $d(2) < 2.1m$ o $d(1) < 2.1m$ o $d(1) > 3.2m$ ejes = 4 y grupos > 2 |
| 5 | >2 | Vehículo articulado de cinco ejes o vehículo rígido o trailer | ART5 | 9 | $d(2) < 2.1m$ o $d(1) < 2.1m$ o $d(1) > 3.2m$ ejes = 5 y grupos > 2 |
| ≥ 6 | >2 | Vehículo articulado de seis (o más) ejes o vehículo rígido o trailer | ART6 | 10 | ejes = 6 y grupos > 2 o ejes > 6 y grupo = 3 |
| >6 | 4 | Vehículo pesado con doble trailer | BD | 11 | grupo = 4 y ejes > 6 |
| >6 | ≥ 5 | Vehículo pesado con triple trailer | DRT | 12 | grupos ≥ 5 y ejes > 6 |

Fuente: Adaptado de MTE User Manual (2007)

En la Figura 1 se detalla la forma de instalar el equipo en una vía de dos carriles. Cabe destacar que el equipo puede trabajar extendiendo los tubos neumáticos de los dos sensores en todo el ancho de la vía; sin embargo, para tener más confiabilidad en los resultados y evitar la probabilidad de que dos vehículos pasen simultáneamente por los tubos, se aconseja que estos sean dispuestos para que registren las mediciones por cada carril.

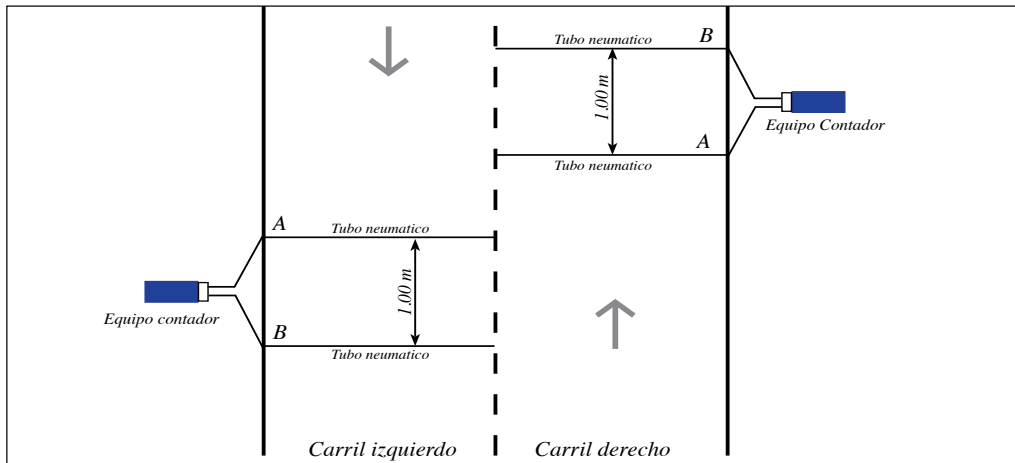


Figura 1. Esquema de instalación del contador MC5600 plus

Fuente: Zárate, B. y Segarra, M. (2014)

El periodo de medición comprendió desde el 10 de febrero al 24 de febrero de 2014 durante 24 horas. Para este tipo de estaciones se requiere realizar mediciones de al menos cuatro días que incluyan dos días laborables, un sábado y un domingo (Kraemer et al. 2003; Wiegand, 2013; Ouren et al. 2013), logrando obtener con ello las variaciones horarias del tráfico de manera confiable (Karjala, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos registrados en el contador vehicular MC5600 plus fueron descargados mediante el software Traffic Executive V3.2; con ello se pudieron obtener las intensidades de tráfico en intervalos de 15 minutos de hora durante el periodo de medición.

El cálculo del factor de hora pico se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$PHF = \frac{V}{4V_{15}} \quad (1)$$

Donde:

PHF: factor de hora pico (adimensional)

V: volumen horario expresado en vehículos/hora

V₁₅: volumen máximo en el intervalo de 15 minutos dentro de la hora (vehículos/15 minutos)

El valor del PHF es máximo 1 y mínimo 0.25 (Bassan, 2013; Durbin, 2006).

En la Figura 2 se puede observar la variación de los factores de hora pico promedio calculados para los dos carriles de la vía.

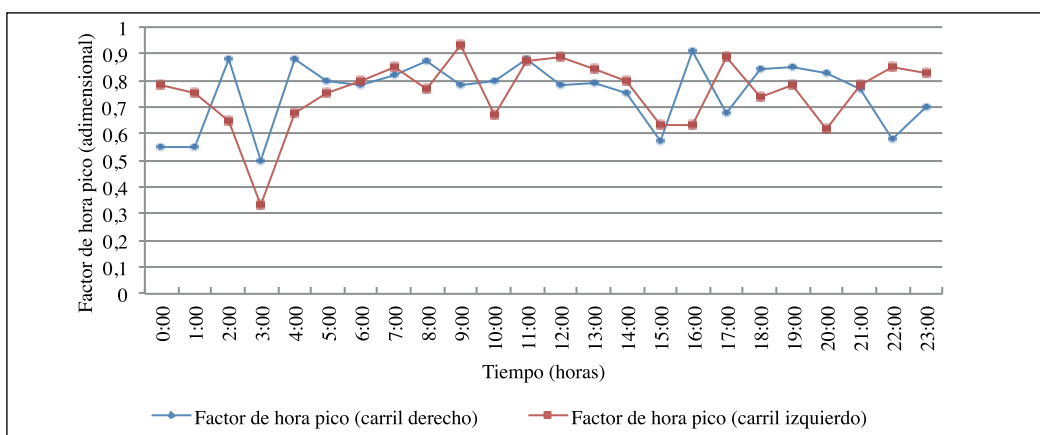


Figura 2. Variación de los factores de hora pico (PHF)

Fuente: Zárate, B. y Segarra, M. (2014)

De igual forma, se estableció la composición vehicular promedio (Seetharaman et al. 2011) en el periodo de medición, obteniendo la siguiente composición vehicular como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición vehicular por carril de circulación

| Clase | Tipología ARX | Porcentaje por carril | |
|-------|---------------|-----------------------|---------------|
| | | Derecho (%) | Izquierdo (%) |
| 1 | MC | 0.62 | 0.54 |
| 2 | SV | 81.63 | 81.25 |
| 3 | SVT | 0.18 | 0.07 |
| 4 | TB2 | 15.02 | 15.76 |
| 5 | TB3 | 1.35 | 1.52 |
| 6 | T4 | 0.01 | 0.03 |
| 7 | ART3 | 0.05 | 0.00 |
| 8 | ART4 | 0.04 | 0.06 |
| 9 | ART5 | 0.34 | 0.28 |
| 10 | ART6 | 0.75 | 0.49 |
| 11 | BD | 0.00 | 0.00 |
| 12 | DRT | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Datos recopilados y procesados por Zárate, B. y Segarra, M. (2014)

La intensidad de tráfico, también denominado volumen vehicular, viene dado por el número de vehículos que circula por una sección específica de una carretera en un periodo determinado; generalmente este tiempo es de una hora. En las Figuras 3 y 4 se puede apreciar la variación temporal de las intensidades de tráfico para los dos carriles de la carretera.

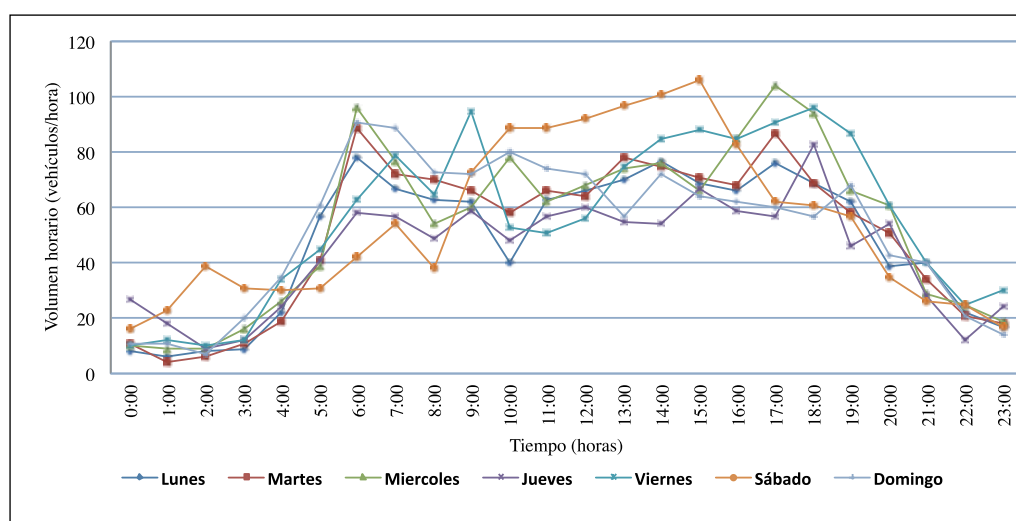


Figura 3. Variación temporal del volumen de tráfico (carril derecho)

Fuente: Zárate, B. y Segarra, M. (2014)

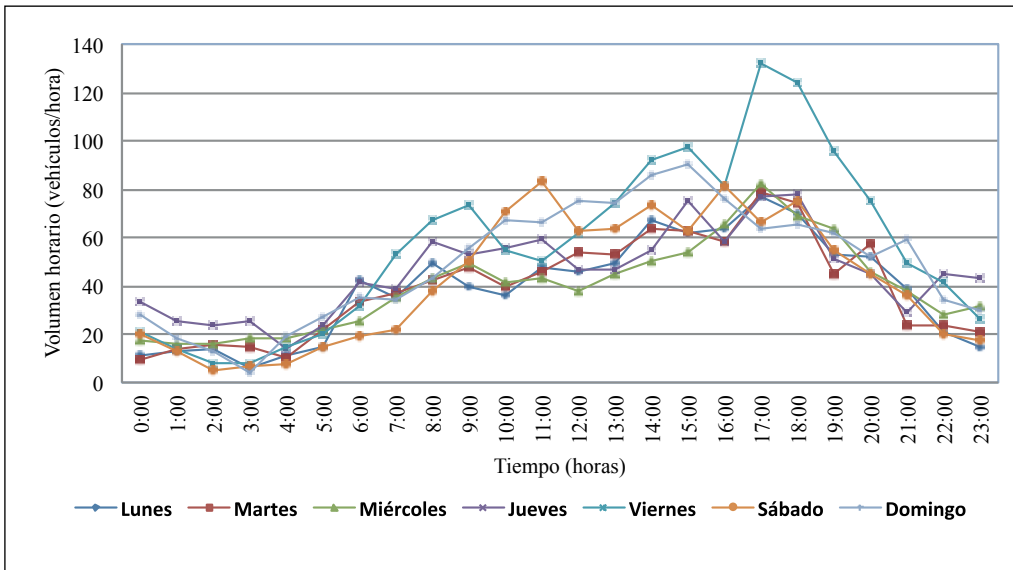


Figura 4. Variación temporal del volumen de tráfico (carril izquierdo)

Fuente: Zárate, B. y Segarra, M. (2014)

Analizando los datos antes indicados, es notorio observar que los PFH varían durante el día especialmente con la variación del tráfico. En la Figura 1 se puede observar que existen puntos extremos superiores e inferiores, con ramas de ascenso y descenso. Cuando un punto es inferior y tiene una rama ascendente a lo largo del tiempo, se puede apreciar que los factores de hora pico tienden a aumentar; la otra situación se presenta cuando se tiene un pico alto y con rama descendente, con lo que el PHF disminuye.

El Highway Manual Capacity 2000 (HCM 2000) ha determinado valores por defecto del factor de hora pico para efectos de calcular ciertos parámetros dividiendo en dos categorías: urbana y rural, con valores de 0.92 y 0.88 respectivamente. Polus y Kikuchi (1989) efectuaron un estudio en ocho carreteras de dos carriles en Delaware – Estados Unidos, pudiendo determinar los siguientes PHF: 0.879-0.934 (zona urbana), 0.803-0.941 (zona suburbana) y 0.757-0.841 (zona rural). La vía Loja-Zamora, en un 98% de su longitud, se encuentra en una zona de bosque nativo correspondiente a una zona rural. Al promediar los valores del factor de hora pico para los dos carriles, se obtienen los siguientes valores: 0.76 (carril derecho) y 0.73 (carril izquierdo), estableciéndose una coherencia de resultados con respecto a la zona.

Bassan (2008) realizó un estudio de ocho carreteras en Tel-Aviv donde relaciona los PHF y los volúmenes horarios en cuatro tipos de carreteras, entre ellas vías de dos carriles en zonas rurales. Los datos de estas variables se ajustan a un modelo logarítmico, logrando obtener un rango de coeficiente R^2 entre 0.16 y 0.72, considerando el efecto de vehículos pesados y buses.

Al correlacionar los datos de la vía Loja – Zamora con el modelo exponencial, se logra obtener valores de R^2 de 0.29 y 0.37 para el carril derecho e izquierdo respectivamente, los mismos que se encuentran dentro del rango antes indicado. En las Figuras 5 y 6 se muestra el ajuste de datos y el valor de R^2 .

Figura 5. Relación volumen horario y PHF – Carril izquierdo
Fuente: Zárate, B. y Segarra, M. (2014)

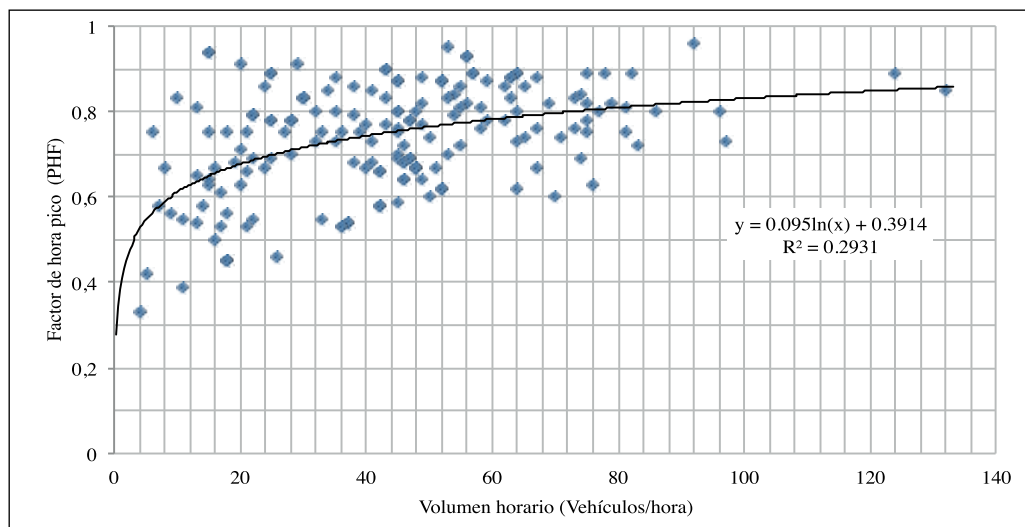
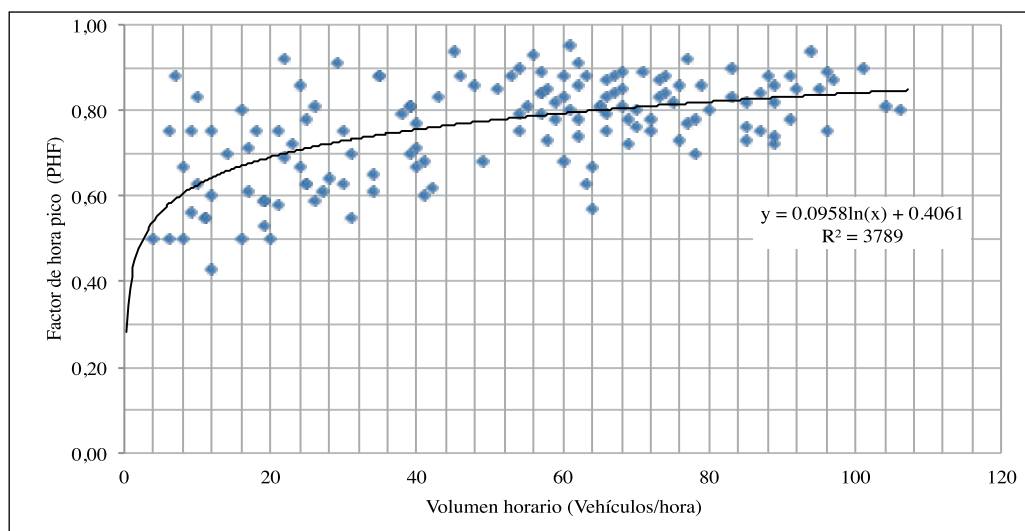


Figura 6. Relación volumen horario y PHF – Carril derecho
Fuente: Zárate, B. y Segarra, M. (2014)



CONCLUSIONES

La determinación del PHF consideró toda la tipología de vehículos que transitan por la vía con el fin de considerar el efecto de los vehículos pesados en la circulación vehicular. En las primeras horas del día (02h00 a 04h00) se puede apreciar valores muy bajos del PHF debido principalmente a las bajas intensidades que se registran por hora y en los intervalos de 15 minutos.

El factor de hora pico promedio determinado para los dos carriles derecho e izquierdo es de 0.76 y 0.73 respectivamente, valores cercanos a los establecidos por el HCM para vías de dos carriles (0.88) y por Polus y Kikuchi (1989) de 0.757 a 0.841.

El modelo logarítmico que ajusta los datos obtenidos genera valores bajos ($R^2 \sim 0.33$), pero que se enmarcan a otras investigaciones realizadas cuyo valores obtenidos de R^2 se hallan entre 0.16 y 0.72.

La técnica empleada para la recolección de los datos mediante contadores neumáticos constituye un método económico, cuyos datos son válidos respecto a otras técnicas de registro de información de tráfico; su información puede ser empleada por entidades gubernamentales para evaluar cuantitativamente el tráfico en una red de carreteras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bassan, S. (2013). Modeling of peak hour factor on highways and arterials. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(1), 224-232.
- Di Leo, G., Pietrosanto, A., Sommella, P. (2009). Metrological performance of traffic detection systems. *Instrumentation and Measurement*, 58(9), 3199-3206.
- Durbin, C. T. (2006). *Traffic performance on two-lane, two-way highways: examination of new analytical approaches* (Tesis de Doctorado), Montana State University, Bozeman.
- Fox, K., Clark, S. (1998). *Evaluating the benefits of a responsive UTC system using microsimulation*. Manuscrito no publicado, University of Leeds, Leeds, United Kingdom.
- Garber, N. J., Hoel, L.A. (2002). *Traffic and Highway Engineering* (3a Ed.). Toronto: CENGAGE Learning.
- Jasrotia, R. (2011). *Effect on Speed Distribution due to Intrusive and Non-Intrusive Portable Speed Measurement Devices*. (Tesis de Maestría), University of Kansas, Kansas.
- Karjala, S. R. (2008). *Estimating quality of traffic flow on two-lane highways* (Tesis de Doctorado), Montana State University, Bozeman.
- Kraemer, C., Pardillo J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V., del Val, M. (2004). (Vol. 1). *Ingeniería de carreteras*, (1a Ed). Madrid: McGraw Hill.
- Marwah, B., Singh, B. (2003). Level of Service Classification for Urban Heterogeneous Traffic: A Case Study of Kanpur Metropolis. *Transportation Research Board*, E-CO18, 271-286.
- MetroCount. (2007). *ARX MTE User Manual – Classification Schemes*, Georgia, MetroCount Inc.
- McGowen, P., Sanderson, M. (2011, July). *Accuracy of Pneumatic Road Tube Counters*. Western District Annual Meeting en Institute of Transportation Engineers, Anchorage.
- Ouren, D., Coffin, A. (2013). Monitoring intensity and patterns of off-highway vehicle (OHV) use in remote areas of the western USA. *Oecologia Australis*, 17(1), 96-110.
- Polus, A., Kikuchi, S. (1989). *Sampling and evaluation of peak hour factor characteristics*. Recuperado de <http://trid.trb.org/view.aspx?id=344402>
- Seetharaman, P., Errampalli, M., Senathipati, V., Shukla, A., Gangopadhyay, S. (2011). Modeling time mean speed and space mean speed for heterogeneous traffic conditions. *Transportation Planning and Technology*, 34(8), 823-838. doi: 10.1080/03081060.2011.613593.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Recuperado de <http://www.buenvivir.gob.ec/69>.
- Transportation Planning and Technology*, 34(8). Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2011.613593>
- Wiegand, K. (2013). *Traffic Monitoring Program*. Recuperado de http://www.dot.ga.gov/informationcenter/statistics/TrafficData/Documents/2013_Georgia_Traffic_Monitoring_Program_4a.pdf
- Xiang, W., Otto, C. W., Wen, P. (2008, December). Automated vehicle classification system using advanced noise reduction technology. Publicación presentada en *1st International Conference on Signal Processing and Communication Systems*, Gold Coast, Australia. Recuperado de <http://eprints.usq.edu.au/id/eprint/3707>