

Variación Diaria y Horaria de la Velocidad de Operación en Carreteras Rurales de Dos Carriles en el Cantón Loja

García-Ramírez, Yasmany¹; Zárate, Belizario¹; Segarra, Soledad¹; González, Julio¹

¹Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, Loja, Ecuador

Resumen: En seguridad vial, la consistencia de diseño de una carretera puede ser estimada mediante el uso de perfiles de velocidad de operación de vehículos. Este perfil se obtiene a partir de modelos de velocidad y aceleración en rectas y curvas. Estos modelos son generados en base a las velocidades de operación recolectadas en campo. En la literatura previa, esta recolección de datos se ha realizado en diversos momentos del día. En este escenario, el presente trabajo tuvo por objetivo determinar si las velocidades de operación varían entre las horas del día y entre los días de la semana en carreteras rurales de dos carriles; con el fin de recomendar los días y horas en donde se obtendrán las velocidades de operación más representativas. Para ello, se recolectaron velocidades con un contador de tráfico neumático MetroCount modelo 5600 plus. El equipo fue colocado en rectas para asegurar que los vehículos alcanzaran velocidades altas. Los resultados muestran que la velocidad de operación varía significativamente entre los días de la semana. También, se encontraron variaciones entre las horas de la noche y las horas del día, no obstante, durante el día no se encontraron variaciones significativas entre todas las horas. Este trabajo sugiere que la recolección de datos de velocidades se debiera realizar de lunes a viernes desde las 07h00 a 15h00, ya que en este período se obtienen las velocidades más altas. Estas velocidades son las más desfavorables, ya que afectan a la seguridad ofrecida por la carretera.

Palabras clave: seguridad vial, perfil de velocidad de operación, noche, día, día de la semana.

Daily and Hourly Variation of the Operating Speed in Two-lane Rural Roads in Loja Canton

Abstract: On road safety, design consistency evaluation of a road could be estimated using the operating speed profile of vehicles. This profile is obtained from tangent and curves speed and acceleration models. These models are generated from operating speeds that are collected in the field. In the previous literature, data collection was performed during various times of the day. In this scenario, this study aimed to determine whether operating speeds vary between hours of the day and between days in the week in rural two-lane roads, in order to recommend the days and hours where most representative operating speeds will be obtained. For that, speeds of four rural two-lane roads were collected with the MetroCount model MC5600 plus device. The device was placed in tangent to ensure that the vehicles achieved high speeds. The results show that there are significant variations in operating speed between weekdays. Also, it was found variations during nighttime and daytime, however, during daytime significant variations between whole hours were not found. This work suggests that speed data collect should be performed from Monday until Friday between 07h00 until 15h00, because the highest speeds are obtained in this period. These speeds are the less favorable speeds because they could affect the safety offered by the road.

Keywords: road safety, operating speed profile, nighttime, daytime, weekday.

1. INTRODUCCIÓN

Una forma de analizar la seguridad que ofrecen la carretera rural de dos carriles es mediante los análisis de consistencia del diseño. Una técnica muy estudiada y aceptada para realizar estos análisis son los perfiles de velocidad de operación. Generalmente, estos perfiles se construyen mediante modelos de velocidad en curvas, modelo de velocidad en rectas o velocidad deseada y modelos de

aceleración y desaceleración entre la recta y la curva. La mayoría de estos modelos relacionan las velocidades de operación con la geometría de la carretera. Estos modelos varían en la forma del modelo, en las variables independientes que usan, afectando sus estimaciones. Incluso, cuando la forma de modelo y sus variables independientes son similares, sus estimaciones son distintas.

Estas variaciones se deben a que la estimación de la velocidad de operación es una cuestión compleja, ya que es influenciada por características del conductor, vehículo,

ydgarcia1@utpl.edu.ec
Recibido: 23/01/2017
Aceptado: 23/10/2017
Publicado: 31/10/2017

entorno y geometría de la carretera. Una de las posibles fuentes de variación en la velocidad de operación es la recolección de datos. Algunos estudios recolectaron velocidades con equipos puntuales como pistolas de radar, láser, sensores piezométricos (Collins et al., 1996; Figueroa y Tarko, 2005; Fitzpatrick et al., 2000), mientras que otros usaron equipos continuos como el GPS (Bennett, 1994; Nie y Hassan, 2007). En la mayoría de estudios relacionados con la velocidad no se colocaron mayores detalles acerca de la recolección de datos, tal como se muestra en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se puede observar que la mayoría de estudios reportaron el mes y/o año de recolección de datos. Algunos autores no indicaron en qué día de la semana se hizo la recolección de datos y muy pocos mencionaron las horas en las que fueron recolectadas las velocidades.

Con el fin de analizar si el momento de recolección afecta a la velocidad de operación y de recomendar los días y horas en donde se obtendrá las velocidades de operación más representativas, esta investigación tuvo como objetivo determinar si las velocidades de operación varían entre horas del día y entre los días de la semana en carreteras rurales de dos carriles. Se consideraron sólo los vehículos livianos ya que sus velocidades son mayores que los demás vehículos. Las velocidades fueron medidas con un contador de tráfico tipo neumático denominado MetroCount modelo MC5600 plus en rectas de carreteras rurales de dos carriles del cantón Loja (Ecuador).

Para exponer este análisis, el artículo está organizado de la siguiente manera. En primer lugar, en la sección de materiales y métodos, se muestra las características del equipo de medición y los sitios de medición, la recolección de datos, el procesamiento de datos y el cálculo del intervalo del tiempo crítico, el cual sirve para separar los vehículos libres de los vehículos en seguimiento. Luego, se muestran los resultados mediante análisis estadísticas, para finalmente discutirlos al final del trabajo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Equipo de medición

El contador neumático MetroCount modelo MC5600 plus tiene dos sensores neumático. Tiene una resolución de 833

microsegundos. Permite registrar automáticamente la velocidad de vehículos en ambos sentidos de circulación. También permite clasificar los vehículos en base a varios esquemas. En este caso se eligió el esquema de clasificación ARX (AUSTROADS Vehicle Classification System), el cual permite catalogar los vehículos en 12 clases.

En la recolección de velocidades, el equipo tiene errores aleatorios asociados a la resolución del equipo y a la ubicación de los sensores neumáticos. En esta investigación, las velocidades recolectadas estuvieron entre 10-132 km/h, pudiendo alcanzar errores de $\pm 0,02$ km/h a $\pm 4,1$ km/h en las velocidades de cada vehículo, sin embargo, dado que la velocidad de operación es un estadístico descriptivo de todas las velocidades de los vehículos y que el número de observaciones fue alto, los errores aleatorios de este estudio se acercarán a cero.

2.2 Sitios de medición

La selección de los sitios de medición estuvo condicionado a los siguiente criterios (i) carreteras pavimentadas rurales de dos carriles, (ii) no tener características físicas que puedan afectar la velocidad de operación, tales como túneles o puentes, (iii) poseer condiciones ambientales similares entre ellos, (iv) presentar pendientes longitudinales menores al 5%, (v) tener buenas condiciones del pavimento, y (vi) poseer un bajo tráfico que asegure la conducción en flujo libre. En base a estos criterios, se seleccionaron 4 carreteras ubicadas en la provincia de Loja (Ecuador): Loja – Catamayo, Loja – Vilcabamba, Loja – Zamora y Loja – Cuenca. El tránsito promedio diaria para cada carretera fue de 1267, 1299, 714 y 1024 veh/h, respectivamente. Las dos primeras carreteras tienen pavimento flexible y el resto tienen pavimento rígido, además, todas las rutas atraviesan terrenos montañosos.

2.3 Recolección de datos

El equipo fue colocado en tramos rectos de forma que los vehículos alcancen altas velocidades. Los sensores fueron colocados transversalmente a la calzada, separados una distancia de 1,0 m. Se aseguraron que los registros en cada carretera sean por lo menos de 30 días, de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 1. Detalle de fechas de recolección de datos en varios estudios de velocidad

Autor/es (año)	Período de medición	Día/Noche	Día de la semana	Hora del día
Bennett (1994)	Dic (1989), Ene.-Mar. (1990), Ago. (1990), Nov. (1990)	Día/Noche	Toda la semana	Todo el día
Collins y Krammes (1996)	*	Día	*	*
Fitzpatrick et al. (2000)	Jul. (1996), Ene. (1997)	Día	*	*
Figueroa y Tarko (2005)	May.-Ago. (2002)	Día	Semana laboral	*
Catbagan y Nakamura (2008)	May.-Oct. (2006)	Día/Noche	Toda la semana	08h00-16h00 20h00-04h00
Memon et al. (2008)	*	Día	*	*
Nie y Hassan (2008)	Ago.-Oct. (2005)	Día	Toda la semana	*
Dell'Acqua et al. (2005)	2009	Día	*	*
Hu y Donell (2010)	Ago. (2004)	Noche	*	*
Pérez et al. (2010)	Feb.-Jul. (2008)	Día	Semana laboral	08h30-14h00

* No disponible

- En el sitio 1 (carretera Loja – Catamayo) : 26 al 28 de febrero del 2014, 01 al 18 de marzo del 2014, 03 al 10 de abril del 2014, 16 al 31 de enero del 2015 y 01 al 04 de febrero del 2015.
- En el sitio 2 (carretera Loja – Vilcabamba) : 01 al 23 de marzo del 2015 y 23 al 28 de febrero del 2015.
- En el sitio 3 (carretera Loja – Zamora) : 10 al 24 de febrero del 2014, 19 al 28 de febrero del 2014, 01 de abril del 2014, 15 al 31 de diciembre del 2014 y 1 al 15 de enero del 2015.
- En el sitio 4 (carretera Loja – Cuenca) : 14 al 30 de abril del 2015, 01 al 15 de mayo del 2015.

2.4 Intervalo de tiempo crítico (“critical headway”)

Una de las condiciones para analizar la velocidad de operación es que los vehículos circulen libremente. Un vehículo libre no es afectado por los vehículos precedentes y puede llegar a circular a la velocidad deseada. En esta sección se analiza el intervalo de tiempo crítico, llamado en inglés “critical headway”, de cada una de las carreteras y se elige el valor más adecuado. Este valor es la separación en segundos que divide a los vehículos libres de los vehículos en seguimiento.

El headway crítico puede ser analizado por varias técnicas: velocidades relativas, comparación de distribución de velocidades relativas, tasas de velocidades relativas, velocidad media y desviación de velocidades absolutas y análisis exponencial. Una de las técnicas que ha mostrado buenos resultados en el análisis del headway es la velocidad relativa media (Bennett, 1994). Esta técnica consiste en promediar las velocidades relativas en un headway considerado. Las velocidades relativas se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$VR_i = |V_i - V_{i-1}| \quad (1)$$

Donde:

VR_i = velocidad relativa entre los vehículos i e $i-1$, km/h

V_i = velocidad del vehículo i , km/h

V_{i-1} = velocidad del vehículo $i-1$, km/h.

Una vez obtenidas las velocidades relativas, se procedió a agruparlas en función de un headway cada 0,25 s. En cada grupo se obtuvo el promedio de las velocidades relativas. El headway y la velocidad relativa promedio fue graficada para cada carretera y cada sentido de circulación. Por representatividad, sólo se consideraron los grupos con más de 100 observaciones. Se registró el headway crítico cuando se la velocidad relativa se mantuvo constante. En la carretera Loja – Catamayo fue de 5 s y en el sentido contrario de 6 s, en la carretera Loja – Vilcabamba fue de 6 s y en sentido contrario fue de 4 s, en la carretera Loja – Zamora fue de 3 s y en el sentido contrario de 8 s y en la carretera Loja – Cuenca no hubo un valor claro y en el sentido contrario de 5 s. Estableciendo un promedio entre esos valores se obtiene que el valor crítico del headway de 5,29 s semejante a 5,5 s.

Los headway críticos más habituales para vehículos livianos están entre 4,5 y 7 s y han sido analizadas ampliamente por

varios autores: 7 s (Quaium, 2010); 6 s (Mahoney et al., 2007); 5 s (Bennett, 1994; Collins et al., 1996; Fitzpatrick et al., 2000; Figueroa y Tarko, 2005; Perco y Robba, 2005; Crisma et al., 2005; Nie y Hassan, 2007; Dell'Acqua y Russo, 2010; Hassan, 2011); 4,5 s (Bennett, 1994).

2.5 Procesamiento de datos

Se eliminaron todos los tipos de vehículos diferentes a los vehículos livianos. Se eliminaron las observaciones de vehículos cuya velocidad no estaba en flujo libre mediante un headway de 5,5 segundos.

Se separó esta nueva base de datos por cada hora del día. En cada grupo se obtuvo la velocidad de operación o percentil 85 de la velocidad. Se obtuvieron las velocidades de operación máximas y mínimas. Luego, se determinó el rango de horas en donde se registraron las velocidades máximas. El número de observaciones en cada grupo estuvo entre 161 y 3245.

Por otro lado, se calculó la velocidad de operación, velocidades mínimas y máximas para cada día. Con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre el día que tuvo la velocidad más alta y los días de la semana, se realizó un análisis de la varianza ANOVA con el 95% de confiabilidad. Considerando que había variaciones significativas se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un error de 0,05 para determinar esas diferencias. El número de observaciones para cada día estuvieron entre 785-6690. Todos los cálculos fueron realizados usando hojas electrónicas (Microsoft, 2007) y MINITAB 14.2 (Minitab, 2005).

3. RESULTADOS

3.1 Velocidades durante las horas del día

Previa al cálculo de las velocidades de operación se hizo un análisis para determinar si la distribución de velocidades en cada hora del día era normal, dado que muchas técnicas de análisis estadísticos asumen que los datos tienen este tipo de distribución. Para ello se realizó un test de normalidad Anderson – Darling mediante el programa estadístico Minitab 14 (Minitab, 2005). Las velocidades agrupadas en cada hora del día tuvieron una distribución normal entre el 83 – 98% al 95% de confiabilidad para todas las carreteras, sin embargo, hubieron ciertos horarios en donde prevaleció la distribución normal, por ejemplo en la carretera Loja – Catamayo (ida y vuelta) entre las 06h00–21h00, en la carretera Loja – Vilcabamba (ida y vuelta) entre las 07h00–22h00 y en las carreteras Loja – Zamora (ida y vuelta) y Loja – Cuenca (ida y vuelta) entre las 05h00–24h00. Cabe aclarar que a lo largo de este documento se referirá como “ida” al sentido de circulación con origen en Loja y como “vuelta” al otro sentido de circulación con destino a Loja.

Considerando que se puede asumir que cada grupo de horas tiene una distribución normal, se procedió a calcular la velocidad de operación. Las velocidades de operación de vehículos livianos respecto a las horas del día para las cuatro carreteras (ida y vuelta) se muestran en las Figuras 1-4.

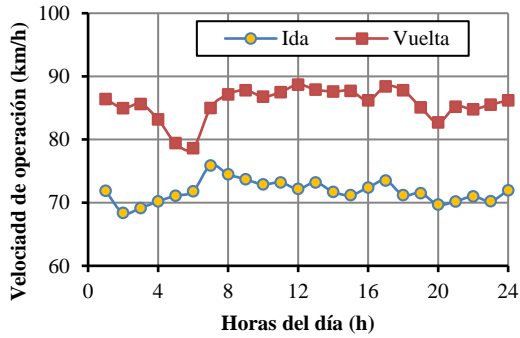


Figura 1. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Catamayo (ida y vuelta)

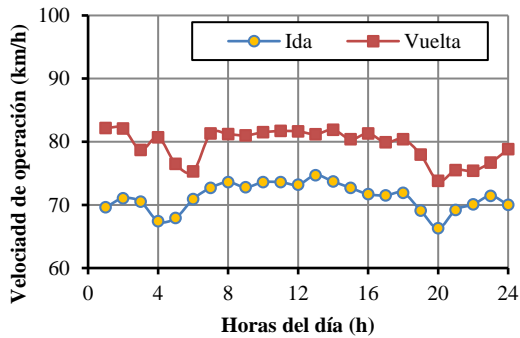


Figura 2. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Vilcabamba (ida y vuelta)

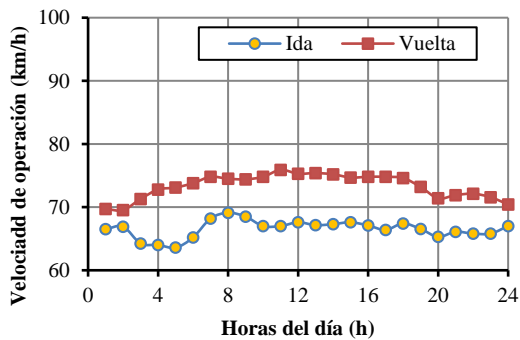


Figura 3. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Zamora (ida y vuelta)

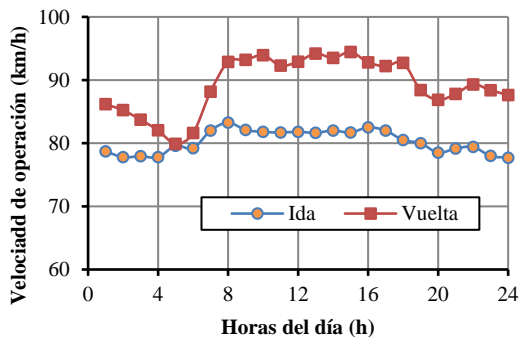


Figura 4. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Cuenca (ida y vuelta)

En la Figuras 1-4 se puede observar que existen más variaciones de velocidad en las horas de la noche que las del

día. Generalmente, la velocidad de operación se mantiene aproximadamente constante durante el día decrece con la reducción de luminosidad del día y vuelve aumentar luego del amanecer. Las velocidades de operación máximas y mínimas para cada grupo de hora son mostradas en la Tabla 2 para cada una de las carreteras que son objeto del estudio.

En las primeras 4 columnas de la Tabla 2 se puede observar que las horas en donde se obtiene las velocidades de operación máximas están entre las 07h00 y 15h00, mientras que las velocidades de operación mínimas están entre las 20h00 y las 06h00. El caso más desfavorable, desde el punto de vista de la seguridad vial, son las velocidades de operación máximas, por su relación con el aumento de probabilidad de estar envuelto en accidentes de tránsito.

3.2 Velocidades durante los días de la semana

En base al rango de horas en donde se obtienen las velocidades de operación máximas, se calculó la velocidad de operación entre las 07h00 y las 15h00 para cada día de la semana y para cada carretera, cuyos resultados están graficados en la Figuras 5-8. También se hizo un test de normalidad a los datos de velocidad en cada día mediante el test Anderson - Darling. Los resultados mostraron que en todos los días para todas las carreteras, las velocidades tienen una distribución normal al 95 % de confiabilidad. Esto es coherente ya que cuando se tiene una mayor cantidad de datos (en este caso 785 a 6690 observaciones por cada día), las observaciones tienden a una distribución normal.

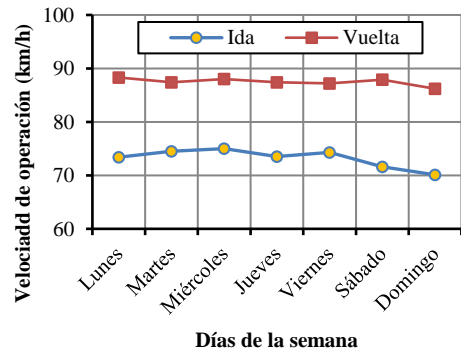


Figura 5. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Catamayo (ida y vuelta)

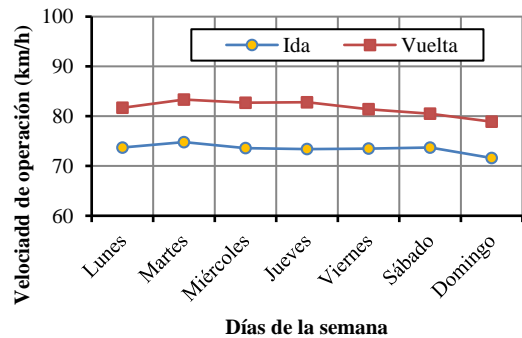


Figura 6. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Vilcabamba (ida y vuelta)

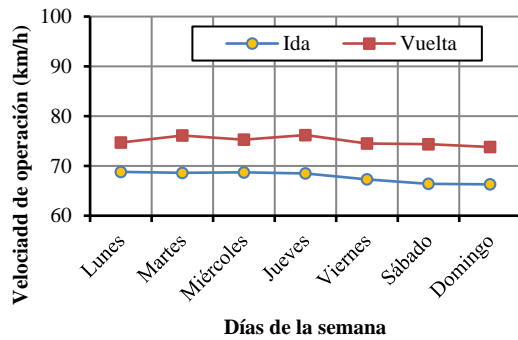


Figura 7. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Zamora (ida y vuelta)

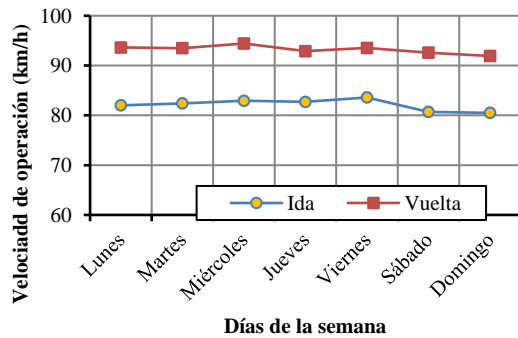


Figura 8. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Cuenca (ida y vuelta)

En las Figuras 5-8 se puede ver que, generalmente, en todas las carreteras las gráficas de las velocidades de operación tienen una ligera tendencia a la baja conforme pasan los días. Los días en donde se obtuvo velocidades de operación máximas y mínimas también se muestran en la Tabla 2, en donde, las diferencias entre las velocidades máximas y mínimas varían entre 2,1 a 4,9 km/h.

En base a la Tabla 2 se puede decir que no se debería muestrear el día domingo, ya que la mayoría de registros se obtiene el valor más bajo de la semana. En esa tabla también se observa que las velocidades de operación máximas se obtuvieron de lunes a viernes. Para determinar si las velocidades eran estadísticamente diferentes del día del valor máximo de velocidad se realizó un análisis de varianza. Estos resultados mostraron que existen diferencias estadísticas con $p=0,000$. Para identificar las diferencias entre las velocidades de operación entre los días de la semana, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey con un error de 0,05. Estos resultados también se muestran en la Tabla 2.

De la última columna de la Tabla 2 se puede decir que, en general, las velocidades estadísticamente diferentes a las velocidades de operación máximas registradas son las de los días sábado y domingo, lo que significa que la recolección de datos en el resto de días es muy similar y además, en ellos se obtienen las velocidades más altas.

4. DISCUSIÓN

Este artículo tuvo por objetivo determinar si las velocidades de operación en carreteras rurales de dos carriles varían entre días de la semana y entre horas del día. Para ello se recolectaron velocidades de 4 carreteras rurales de dos carriles con el equipo MetroCount modelo MC5600 plus.

Las velocidades de operación entre las 07h00 hasta las 15h00 no fueron estadísticamente diferentes entre sí, por lo que la recolección de datos en cualquier hora de este período no afectaría las conclusiones de los estudios relacionados a la velocidad. No obstante, pocos estudios han recolectado las velocidades cerca de ese período de tiempo, por ejemplo: 08h30 a 14h00 (Pérez et al., 2010), 08h00 a 16h00 (Catbagan y Nakamura, 2008), 06h05 a 10h20 y 06h40 a 10h05 (Tok et al., 2009).

Tabla 2. Velocidades de operación mínima y máxima por cada hora del día y por cada día de la semana y los resultados de la prueba Tukey para las carreteras del estudio

Carretera	Velocidades de operación mínima y máxima por cada hora del día				Velocidades de operación mínima y máxima por día				Resultados de la prueba Tukey*
	V _{mín} (km/h)	Hora de V _{mín} (h)	V _{máx} (km/h)	Hora de V _{máx} (h)	V _{mín} (km/h)	Día de V _{mín} (h)	V _{máx} (km/h)	Día de V _{máx} (h)	
Loja – Catamayo	68,4	01h00	75,9	07h00	70,1	Domingo	75,0	Miércoles	Sábado y domingo
Catamayo – Loja	78,6	06h00	88,7	12h00	86,2	Domingo	88,3	Lunes	Domingo
Loja – Vilcabamba	66,3	20h00	74,7	13h00	71,6	Domingo	74,8	Martes	Domingo
Vilcabamba – Loja	73,8	20h00	82,2	13h00	78,9	Domingo	83,3	Martes	Sábado y domingo
Loja – Zamora	63,6	05h00	69,1	08h00	66,3	Domingo	68,8	Lunes	Viernes, sábado y domingo
Zamora – Loja	69,5	02h00	75,9	11h00	73,8	Domingo	76,2	Martes	Sábado y domingo
Loja – Cuenca	77,7	24h00	83,3	08h00	80,5	Domingo	83,6	Viernes	Domingo
Cuenca – Loja	79,9	05h00	94,5	15h00	91,9	Domingo	94,3	Miércoles	Domingo

* Días estadísticamente diferentes al día de la velocidad máxima

Por otro lado, las velocidades de operación no fueron estadísticamente diferentes entre los días lunes a viernes para casi todas las carreteras, es decir, que la recolección de datos para cualquiera de esos días, no afectaría las conclusiones de los estudios relacionados a la velocidad. De los estudios analizados, sólo pocos analizaron estos días por separado, por ejemplo Catbagan y Nakamura (2008) separaron los días de la semana con los feriados; asimismo, Figueroa y Tarko (2005) y Pérez et al. (2010) recolectaron datos durante la semana laboral. En los otros casos, sus resultados (modelos y conclusiones) fueron afectados al no discriminar las velocidades de los días laborables de la semana y los días no laborables.

En este estudio, generalmente, las velocidades fueron normalmente distribuidas, lo cual está acorde a los estudios previos de velocidad (Bennett, 1994; Figueroa y Tarko, 2005; Fitzpatrick et al., 2010; Pérez et al., 2010). Esta distribución forma parte de los supuestos de partida de ciertas técnicas estadísticas, tales como el ANOVA, análisis de regresión, t-test, entre otros.

Con respecto a las limitaciones del estudio, es necesario aclarar que aunque se tuvieron relativamente pocos datos en cada carretera, éstos estuvieron distribuidos a lo largo de 6 meses: desde diciembre a mayo. Asimismo, dado el entorno montañoso y a que las carreteras fueron carreteras rurales de dos carriles, se puede explicar las velocidades bajas comparadas con autopistas o carreteras con diseños geométricos más generosos. Por otro lado, en lo que respecta al contador neumático, es posible que no haya afectado la velocidad de los conductores, dado que se encontraron tendencias similares de velocidad en los distintos periodos que se recolectaron los datos y en cada carretera.

Previa a la recolección de velocidades para el desarrollo de modelos de velocidad de operación en carreteras es necesario realizar un análisis similar al que se hizo en este trabajo. En caso de no disponer con la información respectiva se puede recolectar velocidades de lunes a viernes durante las horas del día. En zonas similares a la evaluada se puede adoptar el periodo del día de 07h00 hasta las 15h00.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador y a la Universidad Técnica Particular de Loja por la ayuda otorgada para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Bennett, C. R. (1994). *A speed prediction model for rural two-lane highways* (Tesis de Doctorado de Filosofía en Ingeniería). Universidad de Auckland. Auckland.

Catbagan, J., & Nakamura, H. (2008). Desired Speed Distributions on Two-Lane Highways Under Various Conditions. *Transportation Research Board*, 2088(1), 218–226. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/2088-23>

Collins, K. M., & Krammes, R. A. (1996). Preliminary validation of a speed-profile model for design consistency evaluation. *Transportation Research Board*, 1523(1), 11–21. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/1523-02>

Crismá, B., Marchionna, A., Perco, P., Robba, A., & Roberti, R. (2005). Operating speed prediction model for two-lane rural roads. *3er. International Symposium on Highway Geometric Design* (pág. 22). Chicago: Transportation Research Board.

Dell'Acqua, G., & Russo, F. (2010). Speed factors on low-volume roads for horizontal curves and tangents. *The baltic journal of road and bridge engineering*, 5(2), 89–97. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.13>

Figueroa, A., & Tarko, A. (2005). Free-flow speed changes in the vicinity of horizontal curves. *3rd International Symposium on Highway Geometric Design*. 133, págs. 1–19. Chicago, Illinois: Transportation Research Board.

Fitzpatrick, K., Eleftheriadou, L., Harwood, D., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I., Krammes, R. A., Irizarry, N., Parma, K., Bauer, K. y Passetti, K. (2000). *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways*. Washington D. C.: Office of Safety Research and Development.

Hassan, I. (2011). Analysis of speed characteristics for rural two-lane roads: A field study from Minoufiya Governorate, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(1), 43–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2011.05.005>

Hu, W., & Donnell, E. T. (2010). Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: results from a nighttime driving experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(6), 397–408. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2010.06.005>

Mahoney, K. M., Porter, R. J., & Himes, S. C. (2007). Speed: How can we get what we want? *3rd. Urban Street Symposium*. Seattle, Washington.

Memon, R. A., Khaskheli, G. B., & Qureshi, A. S. (2008). Operating speed models for two-lane roads in Pakistan. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(5), 443–453. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/L07-126>

Microsoft Corporation. (2007). Microsoft Office Excel.

Minitab. (2005). MINITAB 14.20. State College, PA. Minitab, Inc.

Nie, B., & Hassan, Y. (2007). Modeling driver speed behavior on horizontal curves of different road classification. *86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 21–25.

Perco, P., & Robba, A. (2005). Evaluation of the deceleration rate for the operating speed-profile model. *3rd International SIIV Congress: People, Land, Environment and Transport Infrastructures - Reliability and Development*. Bari: Società Italiana Infrastrutture Viarie.

Pérez, A., García, A., Camacho, F., & D'Attoma, P. (2010). Use of gps data to model operating speed and deceleration on two-lane rural roads. *Transportation Research Board*, 2171(1), 11–20. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/2171-02>

Quaium, R. B. (2010). *A comparison of vehicle speed at day and night at rural horizontal curves* (Tesis de requerimiento parcial para el grado de Master en Ciencias). A&M Universidad de Texas. Texas.

Tok, A., Hernandez, S., & Ritchie, S. (2009). Accurate Individual Vehicle Speeds from Single Inductive Loop Signatures. *88th Annual Meeting of Transportation Research Board*, pág. 22.



Yasmany García-Ramírez es Ingeniero Civil en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) en el 2006. Especialista en Ingeniería de Caminos de Montaña en la Universidad Nacional de San Juan (Argentina) en el 2009. Doctor en Ingeniería Civil en la Universidad Nacional de San Juan (Argentina) en el 2014. Fue becario del SENESCYT (Ecuador) y CONICET (Argentina). Es docente asociado de la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) en materias de diseño de carreteras y pavimentos. Su experiencia profesional ha estado relacionada con el diseño, inspección y mantenimiento de carreteras.



Belizario Zárate es Ingeniero Civil en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador). Es máster universitario en Ingeniería Geológica aplicada a la obra civil en la Universidad de Granada (España), en donde, actualmente está cursando su doctorado. Es docente de la Universidad Técnica Particular de Loja, en donde, también es responsable de la sección de Estructuras, Transporte y Construcciones.



Soledad Segarra es Ingeniera Civil en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador). Es máster universitario en Ingeniería Geológica aplicada a la obra civil en la Universidad de Granada (España), en donde, actualmente está cursando su doctorado. Es docente de la Universidad Técnica Particular de Loja, en donde, también es responsable de la titulación de Ingeniería Civil.



Julio González es Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Técnica Particular de Loja (Ecuador). Es máster universitario en Ingeniería Geológica aplicada a la obra civil en la Universidad de Granada (España). Es docente de la Universidad Técnica Particular de Loja de las materias de topografía elemental y aplicada. Es parte del grupo de gestión de la calidad de la Maestría Vial de la UTPL.