

EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN ENTRE DOS CONFIGURACIONES VEHICULARES EN UN TRAMO CARRETERO ASCENDENTE

Operational speed evaluation between two vehicle configurations
in a positive slope road section

José Jacob Durán Casillas¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
jacobic93@gmail.com

RESUMEN

De entre los muchos factores que detonan la accidentalidad en carreteras, la velocidad es sin duda el factor preponderante por elevar los índices de siniestralidad. La creencia radica en declarar que las altas velocidades son las causantes de los accidentes, pero no necesariamente esta creencia es contundente, sino que los altos diferenciales de velocidad observados en la flota podrían tener peores repercusiones. Para tomar medidas al respecto, la muestra representativa de velocidades es un elemento a considerar que debe realizarse con aproximaciones cercanas a la realidad. El análisis de los datos se lleva a cabo mediante una evaluación del percentil 85 de velocidad en seis diferentes puntos de un tramo de la carretera México-Querétaro, que ha generado polémica en los últimos años por generar accidentes. Dicho tramo es representativo ya que cuenta con un alto Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en la Red Carretera Federal (RCF), tanto en vehículos ligeros como en vehículos de carga. Se presenta entonces una evaluación en campo de los diferenciales de velocidad para Vehículos Ligeros (A) y para vehículos de carga, que en este caso son exclusivamente los Tractocamiones Doblemente Articulados con nueve ejes (T3-S2-R4), donde, producto de la posible sobrecarga y del efecto de la pendiente, se tienen registros de vehículos que circulan hasta a 20 km/h, lo cual podría representar un riesgo a la seguridad vial.

Palabras clave: velocidad de operación, percentil 85, doblemente articulado, vehículo ligero, diferencial de velocidad, seguridad vial

ABSTRACT

Among the many factors that trigger road accidents, speed is undoubtedly the preponderant factor to raise accident rates. The belief is that high speeds are the cause of accidents, but not necessarily, this belief is blunt, but that the high-speed differentials

observed in the fleet could have worse repercussions. In order to take measures in this regard, the speed sample is an element to take into account and must be done with approximations close to reality. The data analysis is done through an evaluation of the 85th speed percentile in 6 different points of the Mexico - Queretaro highway road section, which has generated controversy in recent years due to accident generation. This section is representative because it has a high TDPA index in the federal highway network, not only in light vehicles but also in cargo vehicles. A speed differential field evaluation of Light Vehicles (A) and cargo vehicles is presented, which in this case are exclusively the nine axles Double Articulated Tractors (T3 S2 R4), where product of the possible overload and slope effect, there are records of vehicles that drive up to 20 km / h, which could represent a risk to road safety.

Keywords: Operational speed, 85th percentile, double articulated, light vehicle, speed differential, road safety.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la National Highway Traffic Safety Administration, (NHTSA por sus siglas en inglés), se ocasionan más de 13,000 accidentes fatales en los Estados Unidos, donde uno de los factores con mayor influencia es sobrepasar los límites permisibles de velocidad [1]. Para 2016, más de 37,000 personas fallecieron en accidentes de vehículos motorizados, también en los Estados Unidos esta situación se presenta con un 5.6 por ciento de crecimiento respecto al año anterior. De la cantidad antes mencionada, el 27 por ciento de estos accidentes donde hubo tales víctimas mortales ocurrieron mientras que uno de los vehículos involucrados se desplazaba con exceso de velocidad. De manera subsecuente, aproximadamente el 11 por ciento de estas víctimas estuvieron involucradas en un choque con un vehículo de transporte de carga de grandes dimen-



siones, y es importante destacar que el 72 por ciento de las víctimas de estos accidentes eran conductores de otros vehículos, lo cual resalta el riesgo que los vehículos de carga generan en las demás configuraciones vehiculares, donde los vehículos ligeros destacan como los más afectados [2,16].

Continuando con lo anterior y haciendo énfasis en una de las configuraciones vehiculares objeto de estudio en esta investigación, se muestra que en Estados Unidos para 2016 fallecieron 4,317 personas que se vieron involucradas en un accidente con un vehículo de carga, donde en el 72 por ciento de estos se vieron inmiscuidos tractocamiones de pesos que rebasan las 26,000 lb de Peso Bruto Vehicular (PVB). Esta situación no es ajena a la realidad que se vive en la Red Carretera Federal (RCF) mexicana, donde para el año 2017 ocurrieron un poco más de 11,883 percances que dejaron un saldo de 2,921 personas fallecidas. En los anteriores participaron 19,388 vehículos, donde en el 26 por ciento de los casos participaron vehículos de carga, que incluyen las configuraciones aceptadas por la Norma Mexicana: el Camión Unitario (C), el Tractor Articulado (T-S) y el Tractocamión Doblemente Articulado (T-S-R o T-S-S). En México, para el año 2017, hubo 955 colisiones que involucraron al Tractocamión Doblemente Articulado, dentro de las cuales se presentaron 308 colisiones con víctimas, que dieron como resultado 195 muertos y 536 lesionados [3].

La velocidad es por mucho la causa número uno de accidentes con vehículo motorizado alrededor del mundo, pero no sólo es el exceso de velocidad la causa principal, sino el amplio diferencial de velocidades dentro de la flota vehicular. En [4] se argumenta que no sólo el exceso de velocidad genera una accidentalidad elevada en una carretera, sino que aquellos vehículos que limitan o irrumpen el flujo coordinado de la flota vehicular, o que circulan a una velocidad inferior a la establecida por la ley, son también causales principales de posibles accidentes. Cuando la mayoría de los vehículos circulan a veloci-

dades de operación similares independientemente de si son altas o bajas, la tasa de fatalidad tiende a disminuir. La varianza que se puede presentar en una carretera puede ser uno de los principales detonantes de las altas tasas de accidentalidad. Basándose en experimentos [5], se concluyó que los accidentes en tramos con pendientes elevadas pueden ser comprendidos estudiando las diferencias de las velocidades en los vehículos implicados en un accidente. También resaltan el hecho de que una pendiente superior al 4% y una longitud superior a los 1500 m contribuyen de manera importante a la reducción de la velocidad y al incremento del riesgo de colisión.

Existen ciertos elementos que generan accidentes y que están relacionados con los vehículos de carga con doble remolque. En [6] mencionan que las características particulares de los vehículos de carga influyen positiva o negativamente en la ocurrencia de accidentes. Lo anterior puede ser ocasionado por el mismo vehículo, en cuestión debido a sus características de tracción, incremento de dimensiones y pesos, por el comportamiento del conductor, conductores profesionales pasan más tiempo manejando que un conductor regular, y por el uso que tenga el vehículo para el transporte de mercancías, cuyo uso comercial debería tener más y mejores criterios de eficiencia, regulaciones y restricciones.

Una de las cuestiones más importantes en el comportamiento de los vehículos de carga en las carreteras es su aceleración y el mantenimiento de la velocidad [7]. Por ejemplo, la falta de carriles exclusivos de aceleración en una vía, que cuenta con un solo carril por sentido y que aparte tiene pendientes verticales positivas, provoca que su velocidad disminuya al crear conflictos con los vehículos ligeros que desean rebasar. Cuando un vehículo de carga viaja a 16 km/h (10mi/h) menos que la velocidad de operación de una autovía, la probabilidad de que se vea envuelto en un accidente de tránsito se incrementa hasta 3.7 veces. De igual manera, si el vehículo de carga viaja a 32 km/h (20 mi/h) por debajo

de la velocidad de operación, la probabilidad de que se vea envuelto en un accidente de tránsito se incrementa hasta 15 veces [8]. Así también, estos autores argumentan que un número considerable de vehículos de carga con grandes dimensiones puede afectar la seguridad vial de una autovía puesto que muestran problemas para operar en tramos con pendientes ascendentes (disminuyendo su velocidad), para mezclarse con el resto de la flota vehicular, para maniobras de entrecruzamiento con otros vehículos, para hacer maniobras de frenado y para ejecutar maniobras de evasión repentina.

La mayoría de los accidentes tipo colisión delantera/trasera, en los que se ven envueltos los vehículos pesados, se deben a una diferencia de 40-50 km/h entre los vehículos involucrados. Othman y Thompson mencionan que un valor superior al 4% en pendiente vertical puede ser mucho más riesgoso, en estudios realizados para carreteras suecas [9]. Asimismo [10], argumentan que la longitud del tramo con pendiente ascendente tiene un impacto importante en las carreteras en China. Estas diferencias de velocidad, que pueden ser observadas muy comúnmente en la RCF mexicana, se pueden presentar notablemente entre los vehículos ligeros y los Tractocamiones Doblemente Articulados en tramos carreteros ascendentes, donde ya sea por efecto de la pendiente carretera, el sobrepeso y la relación peso-potencia, los vehículos tipo T3-S2-R4 tienden a disminuir su velocidad notablemente, ocasionando una alta peligrosidad de choque por alcance en los vehículos ligeros. A mayor velocidad menor campo visual por parte del conductor, lo que reduce el tiempo de reacción disponible para que el conductor realice una maniobra evasiva en caso de ser necesitada [11].

El objetivo de esta investigación radica en destacar el potencial riesgo de los vehículos T3-S2-R4 en carretera, considerando una muestra representativa en un tramo que históricamente cuenta con una siniestralidad elevada, pendientes ascendentes pronunciadas superiores a las reportadas en la lite-

ratura y una gran composición de vehículos de este tipo en el TDPA. Es posible que las bajas velocidades observadas en carretera estén relacionadas con el sobrepeso y la pendiente, situándose muy por debajo de la máxima permitida por las autoridades.

LA IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LAS VELOCIDADES DE OPERACIÓN

La velocidad es una medida básica del comportamiento del tráfico. Es de relevancia el entender la implicación de la velocidad en la seguridad de una carretera, puesto que los límites establecidos podrían ser una medida clave en las posibles tasas de accidentalidad. La variedad del diseño de una carretera y las características operacionales podrían ser factores determinantes en la velocidad de operación y en la ocurrencia de choques. Esta información se encuentra directamente relacionada a cuestiones seguridad, tiempo y confort.

Un elemento común en el ámbito de investigaciones en cuanto a la velocidad se refiere es el percentil 85 de velocidad. Este percentil es una buena representación de las velocidades de operación, que es a la cual los vehículos circulan bajo condiciones de flujo libre, y no es más que la velocidad a la que el 85 por ciento de los conductores viajan en una locación en particular [11].

La recolección de datos es esencial tanto para establecer velocidades de operación como para resolver hipótesis vinculadas con las velocidades actuales de una carretera. Una adecuada planeación del proceso de captación de datos debe hacerse eficientemente, de manera que el proceso represente la situación actual. Este proceso presenta la necesidad de una metodología detallada y podría ser sencillo si se tiene el equipo adecuado. Esto último requerirá una pequeña muestra representativa de los datos, con el fin de obtener aproximaciones cercanas a la realidad. Los estudios de velocidad tienen el fin de evaluar cuestiones operacionales y de seguridad de un tramo específico de una carretera [1].



El nombre de los estudios es el de “Estudio de velocidad de punto” y se refiere a locaciones específicas donde es del interés del investigador saber el valor del parámetro velocidad, bajo condiciones del tráfico y condiciones tanto climáticas como operacionales en un preciso momento, saber cuáles son las velocidades que se medirán, así como las configuraciones vehiculares que son de interés para el mismo, de manera que se haga énfasis en ellas, o bien, si lo que se busca es la obtención del parámetro de toda la flota vehicular, que deberá hacerse bajo condiciones de flujo libre, evitando horas de saturación donde la capacidad de la vía sea rebasada por la elevada demanda vehicular [12]. Asimismo, los observadores deberán contar con el equipo de seguridad adecuado y deberán situarse en una locación donde la percepción de ellos por parte de los vehículos de interés no afecte el comportamiento de los vehículos aforados, o bien, el aforador deberá permanecer desapercibido para lograr una toma de datos lo suficientemente aproximada a la realidad.

METODOLOGÍA

Método de selección individual

Para obtener la velocidad, existen dos métodos de medición tanto directa e indirectamente. Uno de ellos es el Método de selección individual, para el cual se requiere de una pequeña muestra de datos tomada en periodos de tiempo reducidos. Dichos estudios están relacionados con investigaciones no de alcances superiores, sino de objetivos pequeños como es el caso de esta investigación.

La herramienta más económica que otorga una precisión aceptable para realizar las mediciones, es la pistola láser o la pistola radar. El principio de estas últimas consiste en el empleo del efecto Doppler para determinar la velocidad, el cual emite un haz de ondas de alta frecuencia hacia un vehículo en

movimiento. Estas ondas se reflejan en el vehículo de interés y regresan al radar. El cambio en la frecuencia de ondas determina la velocidad del vehículo. Se recomienda realizar el estudio en tramos carreteros rectos por la no influencia de la interferencia angular. La precisión de las mediciones dependerá del equipo empleado y de la experiencia del aforador.

Tramo de estudio

Para determinar el área de estudio donde se llevará a cabo el método mencionado, se responde a un llamado de la sociedad o una investigación por parte de alguna entidad gubernamental o científica. Una sección carretera adecuada debe contener ciertas características, pero sobre todo debe ser homogénea. Una sección homogénea es aquella en la que:

El área del camino es consistente

Las características del camino son consistentes: anchos de carril, hombros de camino, superficie regular, etcétera.

Atendiendo a lo anterior, el tramo objeto de estudio es el correspondiente a la carretera México-Querétaro, que históricamente muestra valores elevados del TDPA que alcanzan hasta más de 50,000 vehículos. En algunos puntos, la configuración de interés T3-S2-R4 presenta valores de hasta el 5.6 por ciento, figurando como un contenido elevado de vehículos en la flota diaria vehicular. Así también, resulta ser un tramo conflictivo, puesto que se da lugar a muchos accidentes año con año y la presión de la población local es latente en medios informativos. Por ejemplo, en el año 2017 se presentaron 15 colisiones donde se vieron involucradas estas configuraciones vehiculares, en las cuales, en 6 casos de estas hubo 6 personas fallecidas y 3 lesionados, según datos reportados por la Policía Federal, lo que no quiere decir que no existan más colisiones a lo largo del año [13].

Debido a la búsqueda del diferencial de velocidad del T3-S2-R4 con respecto a los

vehículos ligeros o de tipo A, así como su variación a lo largo de una pendiente prolongada, se decide realizar las mediciones en la denominada "Cuesta china" así conocida por la población local, que comprende aproximadamente 5.37 km, del kilómetro 206+000 al 200+000, aproximadamente y presenta una pendiente con un comportamiento que se puede considerar lineal, teniendo un valor superior al 3 por ciento de pendiente promedio. Dichos tramos se muestran en la Figura 1. De igual manera, se exhiben los puntos donde se realizaron las mediciones de la velocidad, con el fin de denotar la variación de la velocidad en 6 puntos distintos. Los puntos se decidieron pensando en la seguridad del aforador y buscando hacer una evaluación en tramos rectos de la carretera, donde se observaran características consistentes en cada uno de los lugares de interés. También se muestra la variación de la pendiente cada 500 m, la cual se expone a manera de resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de los tramos donde se evaluó la pendiente

Tramo	Kilometraje	Elevación (m)	Elevación (m)	Distancia (m)	Pendiente (%)
T1 - T2	1+000 - 1+500	1858	1889	500	6.20%
T2	1+500 - 2+000	1889	1908	500	3.80%
T2	2+000 - 2+500	1908	1920	500	2.40%
T2 - T3	2+500 - 3+000	1920	1947	500	5.40%
T3 - T4	3+000 - 3+500	1947	1970	500	4.60%
T4	3+500 - 4+000	1970	1990	500	4.00%
T4 - T5	4+000 - 4+500	1990	2006	500	3.20%
T5	4+500 - 5+000	2006	2018	500	2.40%
T6	5+000 - 5+360	2018	2033	370	4.05%



Fuente: Google Earth

Figura 1. Tramo objeto de estudio

Muestra representativa

Para establecer un perfil de las velocidades que circulan por un punto, se debe determinar cuántas velocidades son las necesarias para obtener una muestra que ejemplifique la situación real donde el número de vehículos dependerá del nivel de confianza requerido y del análisis estadístico de los datos. *El Manual de Estudios de Ingeniería de Transporte* [12] presenta la Ecuación 1 para obtener la muestra representativa para la estimación del percentil 85 de velocidad:

$$N = (S^2 K^2 (2 + U^2)) / 2E^2 \quad (1)$$

Donde

N= Número mínimo de velocidades a obtener

S= Desviación estándar estimada de la muestra (km/h)

K= Constante del nivel de confianza deseado

U= Constante del percentil de velocidad deseado

E= Error permitido en la estimación de la velocidad (km/h)

Debido a diferentes factores tanto físicos como operacionales de los vehículos de carga, la obtención de velocidades para estos vehículos se debe de realizar en un periodo a parte de la medición de los vehículos ligeros, puesto que las características de operación son distintas.

En la Tabla 2 se muestran los valores de los parámetros empleados tanto para los ve-



hículos ligeros (A) como para los vehículos T3-S2-R4. De la misma manera en la Tabla 3 se presenta el resumen de los tamaños de muestra necesarios para obtener el parámetro velocidad en cada uno de los puntos de evaluación para las dos configuraciones vehiculares de interés.

Tabla 2. Valores considerados para obtener las muestras representativas

Parámetros	
Vehículos A	Vehículos T3-S2-R4
S Var	S Var
K 2.00	K 2.00
U 1.04	U 1.04
E 3.20	E 6.44

Tabla 3. Valores obtenidos correspondientes al tamaño de muestra en cada uno de los puntos de interés

P1	P2	P3	P4	P5	P6
S(A)= 8.66	S(A)= 7.76	S(A)= 10.99	S(A)= 10.30	S(A)= 10.01	S(A)= 8.95
S(T3-S2-R4)= 8.16	S(T3-S2-R4)= 11.31	S(T3-S2-R4)= 16.88	S(T3-S2-R4)= 16.88	S(T3-S2-R4)= 15.31	S(T3-S2-R4)= 18.34
N(A)= 45.12	N(A)= 36.23	N(A)= 72.67	N(A)= 63.86	N(A)= 60.29	N(A)= 48.20
N(T3-S2-R4)= 6.66	N(T3-S2-R4)= 12.80	N(T3-S2-R4)= 28.50	N(T3-S2-R4)= 28.49	N(T3-S2-R4)= 23.44	N(T3-S2-R4)= 34.98

Discusión y Resultados

Después de realizar el procedimiento descrito en la metodología, se obtuvieron los percentiles 85 de velocidad en cada uno de los puntos propuestos, tanto para la configuración de vehículo tipo A como para la de T3-S2-R4. Es importante destacar que el vehículo objeto de estudio es únicamente el tipo T3-S2-R4. Las velocidades obtenidas para los vehículos tipo A fueron obtenidas con fines comparativos. La Tabla 4 muestra el resumen de los percentiles 85 para ambas configuraciones.

Por un lado, se puede apreciar que los vehículos ligeros tienden a mantener la velo-

cidad en un intervalo que ronda valores obtenidos por el percentil 85. Las velocidades obtenidas demuestran que la gran mayoría de vehículos que circulan por este tramo carretero mantienen su velocidad por debajo de la mínima exigida por las autoridades mexicanas, que es de 110km/h, aunque considerando que parte del tramos se encuentra en una zona suburbana, el Reglamento de Tránsito en Carreteras y Puentes de Jurisdicción Federal, publicado por Diario Oficial de la Federación (2012), limita las velocidades a 50 km/h, lo cual podría ser tema de discusión en cuanto a las condiciones de este tramo carretero. También se puede mencionar, que el efecto de la pendiente no tiene inferencia representativa alguna para los vehículos tipo A, inclusive se observan incrementos de alrededor del 10 por ciento entre algunos de los puntos evaluados, como es el caso del P2 al P3, debido a que los vehículos aceleran para no rezagarse por efecto de la pendiente. Por otro lado, y refiriéndose a los vehículos de tipo T3-S2-R4, la situación es completamente distinta. Si se observan únicamente los percentiles 85 de estas configuraciones, las conclusiones podrían ser similares a las de los vehículos tipo A, como se ve también en la Tabla 4, pero no es así puesto que, al momento de realizar el estudio, se observó que muchos de los vehículos aforados circulaban a una alta velocidad o lo hacían a una muy baja. Debido a esta situación, se optó por hacer diagramas de puntos para entender mejor el comportamiento de dicha configuración, estos diagramas se muestran en la Figura 3, donde queda en evidencia el efecto de la pendiente y la tendencia a la agrupación de los vehículos que circulan tanto a bajas velocidades como a velocidades mayores. En la misma se observa como en P1 el 95% de las velocidades se agrupan por encima de los 50 km/h, situación que se ve disminuida conforme se observan las mediciones en los siguientes puntos. De manera similar, la tabla del percentil 50 es una buena evidencia de cómo a partir de P3 el 50% de los vehículos se desplazan a 50km/h o menos.

De manera agrupada y obteniendo el percentil 50 de cada uno de los puntos aforados, se observa en la Tabla 5 con mayor determinación que al menos la mitad de los vehículos de tipo T3-S2-R4 circulan muy por debajo de la velocidad que establece la ley para esta configuración, que es de 80 km/h. Es necesario destacar que ni en el Reglamento de Tránsito ni en la Norma Oficial NOM-EM-033-SCT-2-2002 se tiene estipulada una velocidad mínima [13] [14], por lo que se permite que estos vehículos manejen a velocidades tan bajas como se observan en el diagrama de dispersión de la Figura 3, donde se registraron velocidades de hasta 20 km/h. Lo anterior se puede relacionar directamente con la sobrecarga. El Instituto Mexicano del Transporte realizó estudios donde se evidencia la muestra total de vehículos de carga que circulan con exceso de Peso Bruto Vehicular en estaciones instaladas en la Red Federal, donde para la configuración T3 S2 R4 se registró que un 37.20 por ciento de los vehículos iban con exceso de carga [15].

Tal cual lo mencionan en [5], para diferentes configuraciones vehiculares la carga vehicular puede ocasionar una reducción significativa en la velocidad de circulación de los vehículos de carga, describiendo un valor de 4 por ciento como el punto de inflexión a partir del cual, para configuraciones vehiculares y pesos brutos menores, la velocidad se ve reducida de manera importante en una longitud considerable. En este caso, se tienen 5 tramos que exceden este valor de pendiente, donde se observan velocidades bajas en las configuraciones de nuestro interés, creando así diferenciales de hasta 80.91 km/h, que representan un riesgo para la seguridad vial de la carretera. También se menciona en [4], argumentando que no es el límite de velocidad ni el aumento de la misma lo que marca la pauta para determinar si una velocidad pone en riesgo la seguridad de los usuarios, sino que la variación de la misma, o bien, las muy altas y muy bajas velocidades sí representan un riesgo a considerar por parte de los expertos en la materia.

Tabla 4. Valor del percentil 85 de velocidad por configuración en cada punto de evaluación.

Percentil 85 de velocidad (km/h)		
Configuración vehicular		
	A	T3-S2-R4
P1	92.31	74.20
P2	86.56	68.32
P3	100.91	68.32
P4	97.18	61.81
P5	101.25	62.67
P6	95.83	66.72

Tabla 5. Valor del percentil 50 de velocidad para los vehículos tipo T3-S2-R4.

Percentil 50 de velocidad (km/h)	
	T3-S2-R4
P1	66.29
P2	51.79
P3	50.00
P4	45.42
P5	40.00
P6	45.33

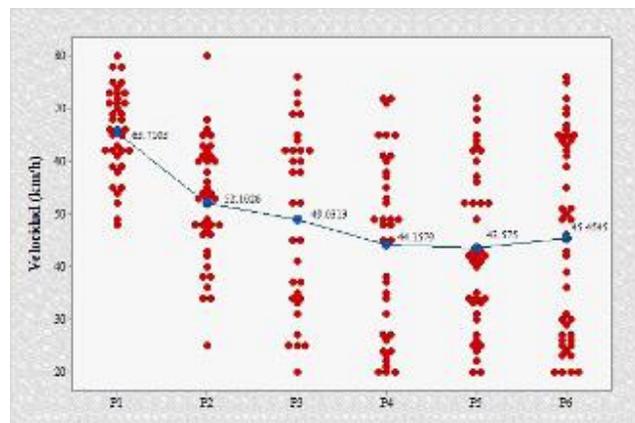


Figura 3. Diagrama de valores individuales en cada uno de los puntos de aforo

CONCLUSIONES

Existen muchas razones por las cuales los vehículos de tipo T3-S2-R4 figuran como elementos de riesgo en la composición vehicular del flujo cotidiano en carreteras, pero, reforzando lo mencionado por algunos autores, la combinación de tramos rectos con valores de pendiente elevados mas un por-



centaje considerable de vehículos, que exceden el peso bruto vehicular autorizado por la normatividad mexicana, representa un riesgo para la seguridad vial de los usuarios de una carretera. Esta situación es de importancia tanto para las autoridades como para los expertos en la materia, puesto que las cifras por accidentes viales a nivel nacional se encuentran en números alarmantes.

En este caso, en el tramo que se evalúa de la carretera México-Querétaro, se presenta una demostración de cómo existen diferenciales de velocidad elevados entre vehículos tipo A y vehículos tipo T3-S2-R4, lo que eleva los índices de siniestralidad, puesto que los vehículos de carga al contar con características físicas más robustas ponen en riesgo a los usuarios más vulnerables.

Aunque la literatura nos indica que el percentil 85 de velocidad es una buena herramienta para determinar velocidades de operación, se necesita hacer uso de otras herramientas que otorguen una descripción más a fondo de la situación observada en carretera. Tal es el caso de los diagramas de puntos, que aunado al aforo realizado en sitio resultó ser una buena herramienta para describir el comportamiento observado en sitio: por un lado vehículos que circulan a muy bajas velocidades probablemente por el efecto de la pendiente y el sobrepeso y, por otro lado vehículos que circulaban cerca de la velocidad máxima permitida, dentro de los cuales se puede inferir que su carga era ligera o que realizaban un desplazamiento sin carga que les limitara alcanzar una velocidad cercana a la máxima permitida. Lo anterior queda ejemplificado con el agrupamiento de velocidades en los puntos donde la pendiente ha tenido influencia, observando registros de velocidades hasta de 20 km/h.

Una línea de investigación futura podría ser la búsqueda directa de la información de peso, pendiente, velocidad y una base de datos de accidentalidad, donde se pueda determinar tramos conflictivos en una red vial, originando así una herramienta de utilidad para que las autoridades pertinentes

tomen decisiones y ejecuten planes de intervención para mitigar y reducir los índices de siniestralidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial al Instituto Mexicano del transporte por el apoyo brindado para acceder a los datos de accidentalidad, así como a la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte por facilitar el radar para realizar los estudios pertinentes.

REFERENCIAS

- [1] Methods and Practices for Setting Speed Limits: An informational report, Federal Highway Administration, 2004.
- [2] Traffic Safety Facts, Summary of Motor Vehicle Crashes, National Highway Traffic Safety Administration, 2016.
- [3] Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2017), Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Documento técnico N° 74, Sanfandila, Querétaro, 2018.
- [4] Lave, Charles A., "Speeding, Coordination and the 55 MPH Limit", American Economic Association, JSTOR, 2014.
- [5] Cerezo, V., Gothié, M., Dupré, G., "The Danger of Ramps for Heavy Goods Vehicles". 10th International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technology, Paris, France, 2008.
- [6] Christoforou, Z. D., Karlafatis, M. G., Yannis, G., "Heavy vehicle age and road safety, Proceedings of the Institution of Civil Engineers", *Transport* 163, 41-48, 2010.
- [7] Grisli, A. "Longer Combination Vehicles and Road Safety", *Transport*, 25(3), 336-343, 2010.
- [8] Harkey, David L., Council, Forrest M., Zegger, Charles V., "Operational Characteristics of Long Combination Vehicles and Related Geometric Design Issues", *Transportation Research Record*, 1523, 22-28, 1996.
- [9] Othman, S., Thomson, R., "Influence of road characteristics on traffic safety". *Proc.*

the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV), Lyon, France, 2007. Paper Number 07-0064.

[10] Fu, Rui., Guo, Yingshi., Yuan, Wei., Feng, Hongyun., Ma, Y., "The correlation between gradients of descending roads and accident rates", *Safety Science*, 49 (3), 416–423, 2011.

[11] A Policy of Geometric Design of Highway and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.

[12] Manual of Transportation Engineering Studies, Institute of Transportation Engineers, 2009.

[13] Reglamento de Tránsito en Carreteras y Puentes de Jurisdicción Federal, Diario Oficial de la Federación, Gobierno de México, 2012.

[14] Norma Oficial Mexicana NOM-EM-033-SCT-2-2002, Límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, 2003.

[15] Estudio Estadístico de campo del auto-transporte nacional, Análisis estadístico de la información recopilada en las estaciones instaladas en 201, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, 2016.

[16] Traffic Safety Facts, Large Trucks, National Highway Traffic Safety Administration, 2016.