

MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO DE VEHÍCULOS COMBINADOS DE CARGA Y EFECTOS EN EL TRÁNSITO

Valencia-Alaix, Victor G, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín
vgvalenc@unal.edu.co

Castaño-Guzmán, Laura Cristina, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín
lccastanog@unal.edu.co

Alarcón-Bohada, Diana Isabel, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín
dialarconb@unal.edu.co

Herrera-Díaz, Dary Luz, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín
dalherreradi@unal.edu.co

Buitrago-Aristizábal, María Valentina, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín
mbuitragoa@unal.edu.co

RESUMEN

En algunas carreteras de dos carriles en Colombia circulan los Vehículos Combinados de Carga (VCC) con longitudes hasta de 56,9 m generando efectos en el tránsito desconocidos debido a la exigencia para realizar su adelantamiento.

El objetivo fue caracterizar la maniobra de adelantamiento que permitiese plantear opciones para facilitar tal maniobra.

Se extrajeron datos de videos registrados desde un vehículo perseguidor del VCC al realizar su adelantamiento obteniendo resultados de tiempos y distancias de adelantamiento que permiten entender esta maniobra y generar recomendaciones para facilitar el adelantamiento y así mejorar la calidad de la circulación.

Palabras claves: maniobra de adelantamiento, camiones grandes, vehículos combinados de carga

ABSTRACT

On some two-lane two-way roads in Colombia, Combined Cargo Vehicles (VCC) circulate with lengths of up to 56.9 m, generating unknown effects on traffic due to the requirement to pass.

The objective was to characterize the passing maneuver that would make it possible to propose options to facilitate such a maneuver.

Data was extracted from videos recorded from a vehicle that was chasing a VCC when passing, obtaining results of overtaking times and distances that allow us to understand this maneuver and generate recommendations to facilitate passing and thus improve the quality of circulation.

Keywords: passing maneuver, large trucks, long combination of vehicles

1. INTRODUCCIÓN

En varios departamentos de Colombia, con topografía plana donde se cultiva la caña de azúcar y se procesa en ingenios, es transportada en Vehículos Combinados de Carga (VCC) compuestos por una unidad tractora y otros elementos como semirremolque y remolques que presentan condiciones de operación en la vía muy particulares especialmente en las maniobras de adelantamientos realizadas en carreteras de dos carriles.

El desconocimiento del impacto en el tránsito de los demás vehículos despierta gran interés para conocer mejor estos efectos operacionales y permitir crear acciones para la gestión del tránsito.

Los VCC circulan principalmente en carreteras con pendientes planas y sus configuraciones componen vehículos de hasta 5 remolques, por ejemplo, el C3-S2-4R3 con longitud de 56,9 m y máximo peso bruto vehicular autorizado de 115,2 Tn (Ministerio de Transporte, 2021) que presentan condiciones de operación bien especiales con efectos en el tránsito que merecen su estudio para identificar los efectos en el nivel de servicio y en la seguridad vial.

Esta preocupación ha motivado a la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) para realizar este estudio que también es de gran interés para los transportadores, las agencias de carreteras y de seguridad vial de Colombia.

Según la revista Forensis (INMLCF, 2019) en 2019 los fallecidos en transporte fueron 6892 y particularmente en transporte terrestre fueron 6816 (el 99% del total) equivalente al 13,94 de decesos por cada 100.000 habitantes; estas cifras se mantienen sin reducir en los años recientes e igualmente continúa el propósito por mitigar este problema tan complejo de la inseguridad vial.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la maniobra de adelantamiento de los VCC en carreteras de dos carriles para identificar los factores incidentes en la operación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) ha estudiado la operación vehicular en carreteras de Colombia desde varios enfoques como el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio en carreteras de dos carriles (MT, 1996) participando en investigaciones para lograr esta segunda versión del manual, estudio de la relación peso/potencia de vehículos pesados (Valencia et al., 1996), la identificación de la maniobra de adelantamiento en Colombia (Valencia-Alaix, 2000, Valencia-Alaix, 2002 y Valencia-Alaix, 2007) y alternativas para facilitar los adelantamientos en carreteras de dos carriles (Valencia y García, 2010; Valencia, 2016).

El efecto en la operación vehicular y en la seguridad vial de la circulación de VCC en las vías públicas de Colombia tiene directrices mínimas para su estudio que sustentan la autorización

de transporte en VCC mediante la resolución 20213040062005 (Ministerio de Transporte, 2021).

Hanley y Forkenbrock (2005) estudiaron otro aspecto de seguridad de los VCC operando en carreteras de dos carriles y es el riesgo potencial de los ocupantes de los vehículos que adelantan a los VCC. En este trabajo se desarrolló un modelo de adelantamiento que tiene en cuenta diferentes niveles de comportamiento de los autos que adelantan, variación en los niveles de agresividad de los conductores, el volumen de tránsito opuesto y la longitud de los vehículos que son adelantados. Se concluyó que con volumen opuesto moderado la posibilidad de malograrse un adelantamiento de un VDC de 36,6 m de longitud con relación a un camión estándar de 19,8 m es de 2 a 6 veces mayor.

Zimmermann (2022) estudió el impacto en la seguridad vial y en el tránsito por camiones largos en las maniobras de adelantamiento. Se observó en las carreteras el comportamiento de otros vehículos hacia los camiones largos en los adelantamientos. Considerando como referencia un camión articulado se indicó que no hay aumento en el riesgo de la seguridad en el adelantamiento de camiones largos aun si ambos tipos de camiones viajaran a la misma velocidad. Las distancias que componen la maniobra de adelantamiento fueron grabadas usando las técnicas de radar y cámaras de video. Los resultados mostraron que la distribución estadística de las distancias de seguridad determinadas para camiones largos es mejor que para los camiones de referencia. Las aceleraciones más altas y las distancias de adelantamiento más cortas conducen al supuesto de que los conductores que adelantan son conscientes de las dimensiones más largas de los camiones largos y reaccionan apropiadamente.

3. METODOLOGÍA

3.1. Maniobra de adelantamiento

La observación de la maniobra de adelantamiento de los VCC en carretera tiene como guía metodológica los estudios que ha hecho la Universidad Nacional de Colombia (Valencia-Alaix, 2000, Valencia-Alaix, 2002 y Valencia-Alaix, 2007) y el modelo de la maniobra que considera el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia (Ministerio de Transporte, 2008).

Se registró en video parte de la maniobra de adelantamiento desde una cámara con GPS instalada en un vehículo que actuó como vehículo que adelantaba a los VCC (vehículo adelantante), en este caso se mantuvo el mismo tipo de vehículo y conductor para limitar el efecto de estos factores en la medición de la maniobra. Los videos de adelantamiento se registraron en carreteras de dos carriles y multicarriles de primera categoría, en terreno plano, rasante horizontal, carril con anchura de 3,60 m, bermas de 1,80 m, superficie de rodadura en buenas condiciones, así como la señalización vial.

Las observaciones de adelantamientos se realizaron principalmente con clima soleado, no se hicieron mediciones de volúmenes de tránsito, pero no generaron en la corriente congestiones importantes y las dimensiones de los VCC se muestran en el cuadro correspondiente.

Número de remolques	Longitud promedio del VCC (m)
3	39,566
4	46,010
5	55,149

Se extrajeron datos que representaban los tiempos parciales que componen la maniobra de adelantamiento revisando las imágenes de los videos con el uso de una interfase gráfica (KINOVEA), esta se adaptó para medir dichos tiempos considerando el registro de otras condiciones como el tipo de vehículo adelantado (VCC) y los vehículos opuestos en caso de que participaran en la maniobra. Las etapas de la maniobra consideradas fueron la de seguimiento del VCC, la aceleración para adelantar y cambio de carril, la circulación por el carril contrario y el regreso al carril normal luego de adelantar al VCC.

Esta interfase permite analizar el comportamiento de los vehículos involucrados segundo a segundo, esto ayuda a conocer con mayor precisión el inicio y fin de cada etapa de la maniobra de adelantamiento reduciendo los errores, también permitió identificar la variación de las velocidades.

El KINOVEA es una herramienta computacional de acceso libre que permite editar los videos con anotaciones y creada para el análisis de los movimientos de los deportistas. Se aplicó para revisar los videos de las maniobras de adelantamiento de manera que se colocaban etiquetas con códigos en los instantes donde interesaba marcar los tiempos que componen la maniobra de adelantamiento y de esta manera medir con precisión dichos instantes aprovechando varios comandos que dispone el programa.

En la Figura 1 se ilustra una escena en la extracción de datos con el uso de la interfase gráfica actuando sobre imágenes de un video.

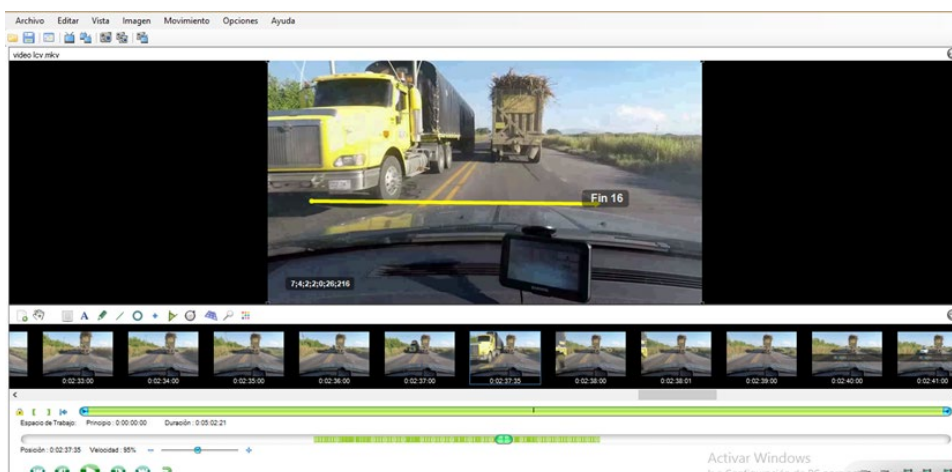


Figura 1. Extracción de datos desde imágenes en interfase gráfica.

Las configuraciones de VCC observadas fueron alrededor de 12 diferentes con 3, 4 y 5 remolques. Los tiempos parciales que componen la maniobra de adelantamiento son ilustrados en la Figura 2. Para cada tiempo parcial corresponde una distancia que integra la distancia de adelantamiento. Se tuvo en consideración el tipo de vehículo opuesto que participaba en la maniobra. Así como el cambio de la velocidad a lo largo de la maniobra.

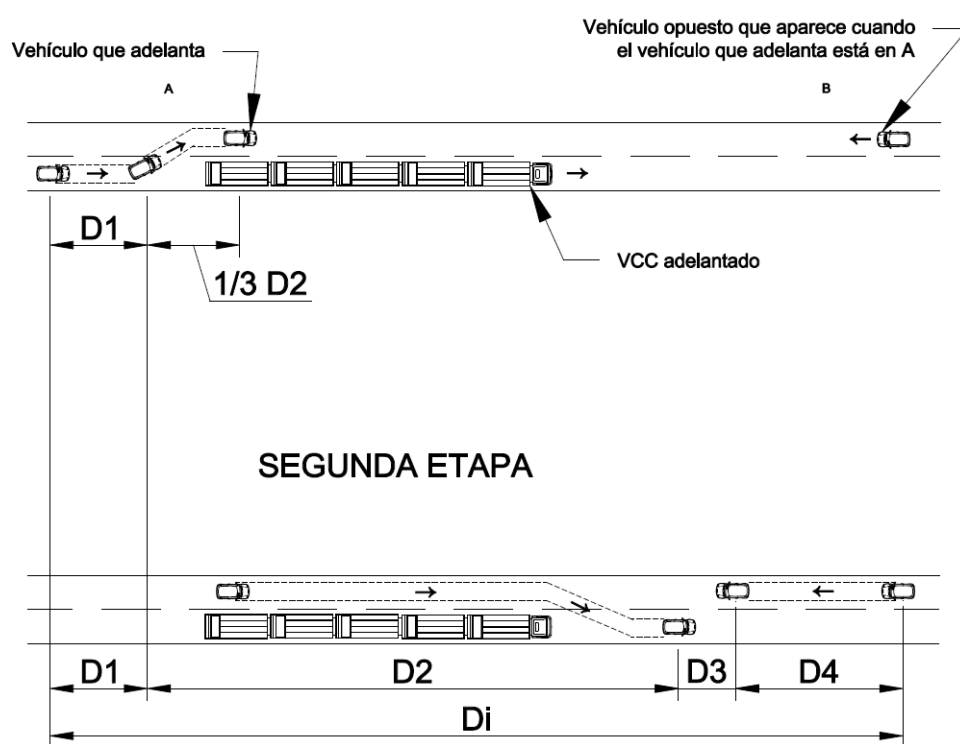


Figura 2. Modelo de la maniobra de adelantamiento según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia. (Ministerio de Transporte, 2008).

Dónde:

- t_1 = Tiempo de la maniobra inicial, en segundos. Tiempo de percepción y reacción.
- t_2 = Tiempo empleado por el vehículo al realizar la maniobra para volver a su carril, en segundos.
- t_3 = Tiempo de seguridad, una vez terminada la maniobra, entre el vehículo que adelanta y el vehículo que viene en la dirección opuesta, en segundos.
- t_4 = tiempo de recorrido del vehículo opuesto desde el inicio de la maniobra de adelantamiento y el regreso al carril normal del vehículo adelantante.

El Manual de Diseño Geométrico de carreteras de Colombia vigente (MT, 2008) contiene un modelo de maniobra de adelantamiento que ha considerado como referencia el del Libro Verde de la AASHTO (AASHTO, 2004) destacándose dos diferencias, la primera, en la definición de la distancia D_1 y en forma equivalente el tiempo parcial t_1 ya que el modelo de la AASHTO considera no solo el tiempo de percepción y reacción si no también el tiempo hasta que el vehículo adelantante empiece a ingresar al carril izquierdo mientras que la definición que tiene

el manual de Colombia solo contempla el tiempo de percepción y reacción por lo cual el valor de t_1 se asumió igual a 1 segundo; esta medición se encuentra en revisión para corresponder con la definición de t_1 del libro Verde de 2004; segunda, aunque por definición indica que la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento comprende desde el momento en que inicia D_1 hasta que termina D_4 , el Libro Verde asume como D_4 igual a $2/3 D_2$.

El libro Verde de 2011 (AASHTO, 2011) ya no considera más su modelo de adelantamiento ni la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento para diseño porque luego de un estudio realizado en 2008 comparando esta distancia con la que contiene el Manual de Señalización Vial (MUTCD, 2009), encontró una diferencia del doble de aquella y por tanto decidió acoger el criterio del Manual de Señalización.

Debido a la metodología utilizada solo fue posible medir t_1 , t_2 y t_3 y a partir de estos datos y definiciones se calcularon D_1 , D_2 y D_3 y D_4 se obtuvo como lo indica el modelo de adelantamiento de referencia y se consideró igual a $2/3 D_2$. Por su parte, se asumió que el vehículo opuesto 2, que define D_4 , circulaba a la misma velocidad del vehículo adelantante antes de reducir la velocidad para empezar a seguir al VCC.

Dentro de la cobertura de grabación de la cámara se dispuso un GPS cuyas lecturas de velocidad exhibidas en la pantalla se podían observar y registrar para adelantar otros cálculos como la determinación del cambio de velocidad durante el tiempo de adelantamiento t_2 .

Solo se registraron maniobras de adelantamiento con seguimiento, es decir, aquellas en las que el vehículo adelantante sigue al vehículo adelantado (VCC), a velocidad similar, antes de iniciar la aceleración para adelantar y cambiar de carril; y el regreso al carril original, después del adelantamiento, se realiza de manera normal, en otras palabras, sin generar maniobras forzadas ni al vehículo adelantante ni al vehículo opuesto 2.

En este estudio el vehículo adelantante, el cual llevaba la cámara, siempre fue el mismo, así como su conductor quien conservó en las maniobras de adelantamiento las mismas condiciones de separación o brecha de seguimiento con respecto al VCC que se adelantaría limitando la variación de este factor.

Luego de desarrollar la metodología descrita para registrar y posteriormente medir la maniobra de adelantamiento se identificaron algunas ventajas y desventajas.

Ventajas:

- La relativa facilidad y economía para hacer el registro de la maniobra en video lo cual supone hacer seguimientos a los VCC y adelantarlos.
- El equipo necesario (cámara de video con GPS y accesorias) y de un vehículo podría no significar algo difícil de conseguir para estudios de este tipo.
- El tiempo necesario para la búsqueda en vía de los VCC y luego seguirlos y adelantarlos podría ser una dificultad, pero se hallaron ciertas vías y horarios donde esta práctica puede realizarse con cierta facilidad.

Desventajas:

- No es posible encontrar siempre en los adelantamientos realizados todas las condiciones para obtener todos los tiempos o distancias que componen la distancia de visibilidad de adelantamiento como t_3 y t_4 haciendo incompleta la cobertura de datos.
- La necesidad de gran cantidad de maniobras a registrar para cubrir toda la diversidad de condiciones que se presentan en los adelantamientos como el tipo de vehículo adelantante, tipo de conductor, tipo de configuración de VCC a adelantar, brechas aceptadas y rechazadas para realizar el adelantamiento, adelantamientos múltiples, tipos de vehículos opuestos, tipo de adelantamiento, etc.

3.2. Extracción de datos con el uso de la interfase gráfica

Se observó un total de 52 maniobras de adelantamiento de VCC en diferentes vías de los departamentos de Valle del Cauca y Cauca. La cámara se ubicó cerca a la vista del conductor y en el interior del vehículo dirigido hacia la vía, además, dentro del campo visual de la cámara se instaló un GPS cuyas lecturas de velocidad y otras podrían ser registradas; además, se contaba con el GPS de la cámara de vídeo.

Al ser KINOVEA una herramienta computacional que permite editar los videos en un formato propio creado anotaciones en instantes definidos previamente de manera que correspondan con los inicios y terminación de cada tiempo o distancia parcial que compone la maniobra de adelantamiento, es decir, los tiempos t_1 , t_2 y t_3 . Haciendo uso de los comandos de avance y retroceso lento o por pasos pequeños del video se puede lograr una buena coincidencia, además, en cada etiqueta o anotación creada el programa asigna el tiempo correspondiente; finalmente, si a esas anotaciones se les da un nombre en código se puede procesar los datos que puede crear el programa en formato de hoja electrónica de Excel.

La distancia D_1 es la que recorre el vehículo adelantante durante el tiempo de percepción y reacción, aquí el conductor percibe la posibilidad de realizar la maniobra y reacciona dando inicio a esta; la distancia D_2 es la que recorre este mismo vehículo desde el momento en que inicia su cambio de carril y acelera por el carril de circulación para el sentido contrario hasta que regresa a su carril inicial; la distancia D_3 o distancia de seguridad es la que existe entre el vehículo adelantante y el vehículo opuesto 2 que se aproxima por el carril para la dirección contraria; y la distancia D_4 corresponde al recorrido realizado por el vehículo opuesto 2 desde el inicio de la maniobra de adelantamiento.

De las grabaciones se obtuvieron los momentos que determinan el inicio y el fin de las distancias D_1 y D_2 , mientras que las distancias D_3 y D_4 fueron calculadas posteriormente a partir de esa misma información.

Así estos instantes de interés fueron marcados en KINOVEA por medio de capturas del video, además se tomaron imágenes cada segundo para tener los tiempos parciales que componen la maniobra de adelantamiento. La Figura 1 muestra una representación de las capturas obtenidas.

En cada una de las imágenes, utilizando un comando especial de creación de etiquetas, se almacenó un código que corresponde a la siguiente información:

- Configuración de tren cañero que se está adelantando
- Tipo de vehículo que dio la brecha de adelantamiento
- Número de carriles que contiene la vía
- Número de sentidos de la vía
- Estado de la brecha, para indicar si esta fue aceptada o no, cuando la brecha es aceptada significa que se procedió a realizar el adelantamiento
- Velocidad del vehículo que adelanta en el momento exacto en el cual se obtiene la imagen

Estos datos se registraron por medio de convenciones que se definieron para este estudio. La Figura 3 muestra el cuadro de comentarios de una imagen con su correspondiente anotación.

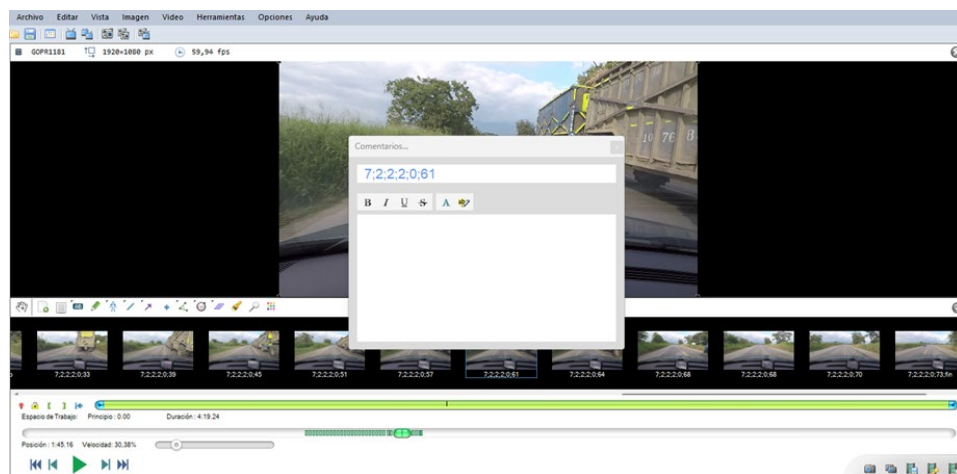


Figura 3. Cuadro con códigos para la creación de la etiqueta en KINOVEA.

La información de cada imagen es exportada desde KINOVEA a una hoja de cálculo, la información del análisis de cada video se exporta desde KINOVEA a una hoja de cálculo donde se realizó el procesamiento de la información con el fin de organizarla y realizar el análisis estadístico y descriptivo.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 1 se presentan los valores de los tiempos y las distancias que integran la Distancia de Adelantamiento de los VCC. Se clasificaron los valores según el número de remolques que integran los VCC observados.

En la Tabla N° 2 están las velocidades promedio de los VCC antes de iniciar su adelantamiento o, lo que es lo mismo, mientras era seguido por el vehículo adelantante antes de empezar a adelantar.

Tabla N° 1. Tiempos y distancias de la maniobra de adelantamiento de VCC.

# remolques	t ₁	D ₁	t ₂	D ₂	t ₃	D ₃	t ₄	D ₄	Tiempo de adelantamiento (s)	Distancia de adelantamiento [Da] (m)
5	1	10,16	12,9	204,24	0,5	7,07		101,19	14,38	322,66
4	1	11,36	13,1	238,12	0,8	14,37		114,27	14,89	378,13
3	1	12,90	13,3	246,30	1,1	21,39		145,65	15,39	426,24

Nota: t_i en segundos y D_i en metros.

Tabla N°2. Velocidad promedio de seguimiento (Antes de t₁).

# remolques	Velocidad promedio (km/h)
5	36,71
4	43,31
3	50,62

De los valores de la Tabla N°1 se puede concluir que el Tiempo de Adelantamiento y la Distancia de Adelantamiento Total aumenta en la medida que el vehículo adelantado (VCC) tiene menos remolques lo cual, en principio, luce como contraintuitivo, pero al ver las velocidades de los VCC antes de ser adelantados, consignadas en la Tabla N°2, se observa que a medida que el VCC tiene menos remolques puede circular a mayor velocidad debido a que transporta menos carga; y cuando un vehículo desea adelantar a otro que viaja a una velocidad alta le resulta más difícil hacerlo ya que a mayor velocidad de circulación tiene menos capacidad de aceleración, este mismo resultado fue encontrado por Valencia-Alaix (2002).

Se puede obtener una relación entre el tiempo t₂ y la longitud del VCC adelantado como se muestra en la Tabla.

Tabla N°3. Relación entre la Longitud del VCC y t₂.

# remolques	Longitud VCC (m)	t ₂ (s)	Longitud/t ₂
3	39.57	13.3	2.97
4	46.01	13.1	3.51
5	55.15	12.9	4.28

El Tiempo de Adelantamiento obtenido ($t_1+t_2+t_3$) para VCC con 5, 4 y 3 remolques supera en 5,3%, 9,0% y 12,7%, respectivamente, el Tiempo de Adelantamiento correspondiente para camiones con un solo remolque que es de 13,66 s. Por su parte, la Distancia de Adelantamiento ($D_1+D_2+D_3+D_4$) obtenida para VCC con 5, 4 y 3 remolques varía en -7,5%, 8,3% y 22,1%, respectivamente, con respecto a la correspondiente Distancia de Adelantamiento para camiones con un solo remolque que es de 349 m (Valencia, 2002). Entonces, de acuerdo con estas mayores necesidades de Tiempo de Adelantamiento que requiere sobrepasar los VCC, su presencia en las carreteras de dos carriles requiere que para ser adelantados sea necesario más Tiempo de Adelantamiento lo cual es menos probable de hallar en la corriente vehicular ocasionando que los vehículos que deseen adelantar a un VCC deberán esperar más tiempo mientras siguen a un VCC antes de encontrar la oportunidad o el tiempo suficiente para adelantar a los VCC y durante este tiempo de seguimiento circularán a la menor velocidad que circula un VCC haciendo que la velocidad promedio de la corriente vehicular sea menor lo cual significa que se reduciría el Nivel de Servicio. En Colombia, el Nivel de Servicio en carretera de dos carriles se estima utilizando un procedimiento propio en el cual el indicador para asignar el Nivel de Servicio es la relación entre la Velocidad Media de Recorrido y la Velocidad a Flujo Libre (MT, 2022).

Tal como Valencia (2002) lo concluyó en su trabajo hay múltiples factores que inciden en la variabilidad de la maniobra de adelantamiento que se enumeran a continuación: Tipo de adelantamiento (con seguimiento o sin seguimiento), tipo de vehículo adelantante, adelantado y opuesto (auto, bus, camión, etc.), tipo de regreso al carril original por parte del vehículo adelantante luego del adelantamiento (voluntario o forzado), tipo de conductor (por ejemplo, normal, arriesgado, etc.), velocidad de diseño de la vía, entre otras; para el caso de este trabajo se observaron maniobras de adelantamiento con seguimiento con un auto como vehículo adelantante, con un conductor normal, vehículo adelantado tipo VCC, regreso voluntario y forzado y diferentes tipos de vehículos opuestos en carreteras con velocidad e diseño entre 60 km/h y 80 km/h.

Es menos probable encontrar las condiciones necesarias para adelantar un VCC en la corriente vehicular (Menores oportunidades para adelantar) frente a la mayor necesidad de adelantar por la presencia en el tránsito de los VCC (Mayor demanda de adelantamientos). Este déficit puede aumentar los riesgos de accidentalidad ya que es más difícil disponer de oportunidades seguras para adelantar incentivando a los conductores a asumir más riesgos para adelantar, por otro lado, debido a las limitaciones de la visión humana para valorar adecuadamente las distancias hasta los vehículos opuestos lejanos, como lo indica la Distancia de Adelantamiento necesaria resultante, hace crítica la decisión para realizar el adelantamiento lo que también contribuiría a tomar decisiones de adelantamiento erróneas.

Estos resultados de mayores Tiempos de Adelantamiento de VCC generan un posible desbalance entre oportunidades y demandas de adelantamiento que operacionalmente conduciría a mayores demoras por seguimiento de vehículos, mayores agrupaciones de vehículos (porcentaje de agrupamiento) y menores velocidades promedio de recorrido que

probablemente generan Niveles de Servicio pobres lo cual no se estudió en este trabajo, pero marca un nuevo tema de investigación que se plantea a futuro inmediato.

Surge también el interrogante sobre el efecto que produce la presencia de los VCC en la seguridad vial en carreteras de dos carriles donde la maniobra de adelantamiento es sensible siendo esta otra propuesta de línea de investigación.

5. CONCLUSIONES

El Tiempo de Adelantamiento obtenido ($t_1+t_2+t_3$) supera entre 5,3%, 9,0% y 12,7% para VCC con 5, 4 y 3 remolques, respectivamente, el tiempo correspondiente para camiones con un solo remolque de 13,66 s.

La diversidad de configuraciones de los VCC, ya que se encontraron 15 combinaciones diferentes, exige un análisis más amplio de la maniobra de adelantamiento de esos VCC, de los efectos en la operación vehicular especialmente en carreteras de dos carriles donde la presencia de los VCC podría reducir el Nivel de Servicio que en Colombia se determina con la relación Velocidad Media de Recorrido/Velocidad a Flujo Libre y otras condiciones de la vía y el tránsito, y finalmente a los efectos sobre la seguridad vial; estos temas invitan a continuar realizando investigaciones para poder generar acciones de mejoramiento que fortalezcan la gestión del tránsito y la seguridad vial.

Como resultado de lo anterior, se continúa la investigación con un estudio que se desarrolla actualmente, trata de profundizar el análisis de la maniobra de adelantamiento aplicando otra metodología que consiste en colocar cámaras de video en la parte trasera y delantera de un VCC para registrar las maniobras de adelantamiento en una mayor diversidad de condiciones de adelantamiento, de tipos de vehículos y conductores que adelantan, un registro más completo y mayor cantidad de observaciones que ayudan a resolver las limitaciones identificadas de la metodología aplicada en este trabajo.

6. REFERENCIAS

AASHTO (2004) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 5th Edition, The American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

AASHTO (2011) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 6th Edition, The American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

Hanley, Paul F. and Forkenbrock, David J. (2005). Safety of passing longer combination vehicles on two-lane highways. Transportation Research Part A., 39, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tri.2004.09.001>

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2019). FORENSIS Datos para la vida. Santafé de Bogotá, D. C.: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

Ministerio de Transporte. (1996). Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de dos Carriles. Segunda versión. Santafé de Bogotá, D.C.

Ministerio de Transporte. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Santafé de Bogotá, D. C., Colombia.

Ministerio de Transporte (2021). Resolución 20213040062005 del 21 de diciembre. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

Ministerio de Transporte (2022). Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de dos Carriles. Tercera versión. Santafé de Bogotá, D.C.

Valencia, V. G., Bedoya, V. E., Osorno, M. E. (1996). Relación Peso/Potencia de Vehículos Pesados en Colombia. IX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. La Habana, Cuba.

Valencia-Alaix, V. (2000). Aspectos de la maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia y su relación con el TWOPAS. IV Congreso de Ingeniería del Transporte. CIT2000. Junio 7 de 2000. Valencia (ESPAÑA). ISBN (obra completa) 84-699-2605-5. ISBN (Vol 2) 84-699-2603-9

Valencia-Alaix, V (2002). Estudio experimental de la maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia. V Congreso de Ingeniería del Transporte. CIT2002. Junio 11 a 13 de 2002. Santander (ESPAÑA). ISBN (obra completa) 84-699-7739-3. ISBN (Vol 3) 84-699-7743-1

Valencia-Alaix, V (2007). Maniobra de Adelantamiento en Carreteras de Dos Carriles. Recomendaciones de adaptación del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia. VIII Simposio Colombiano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. agosto 18 de 2007. Popayán. (COLOMBIA).

Valencia, V. y García, A. (2010). Procedures to Facilitate Passing on Conventional Highways by Means of Simulation. Proceedings of 4th International Symposium on Highway Geometric Design. Junio 1 al 5. Valencia, España.

Valencia, V. (2016). Elaboración de procedimientos para facilitar el adelantamiento en carreteras convencionales aplicando simulación, Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain.

Zimmermann, Matthias (2022). Passing of Long Trucks – Impact on Traffic Safety and Traffic Flow. 6th International Symposium on Highway Geometric Design Proceedings. Amsterdam, The Netherlands, 26-29 June 2022