

LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES EN COLOMBIA

Beatriz Elena Pineda Uribe¹

¹ Beatriz Elena Pineda Uribe. Magíster en infraestructura y sistemas de transporte. Docente Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia
beatrizpineda@elpoli.edu.co

RESUMEN

En Colombia se tiene legislación para el adelantamiento en carreteras de dos carriles en el Manual de diseño geométrico de carreteras, en el Manual de señalización y en el Código de Tránsito, en el primero la norma para calcular la distancia de adelantamiento se basa en la velocidad específica, en el segundo en la velocidad de diseño y en el tercero se tiene en cuenta es la velocidad de operación y estos tres, arrojan distancias con diferencias considerables. Esto motivó el análisis de la maniobra y por ello se presentan aquí tres estudios realizados en Colombia, incluyendo el de la autora de este artículo que hace énfasis en la variable velocidad.

Palabras clave: distancia de visibilidad de adelantamiento, maniobra de adelantamiento, carreteras de dos carriles.

Recibido: 5 de Octubre de 2009. Aceptado: 20 de Noviembre de 2009
Received: October 5, 2009. Accepted: November 20, 2009

PASSING MANEUVER IN TWO-LANE HIGHWAYS IN COLOMBIA

ABSTRACT

In Colombia there is legislation for the advancement of two-lane highway in the manual of geometric design of roads, the Manual signal and the Traffic statute, in the first two specifications to calculate the passing sight distance is based on the design speed and operating speed and throw distance respectively with significant differences. This motivated the analysis of the maneuver and therefore presented here three studies in Colombia, including the author of this article emphasizes the speed variable.

Keywords: *Passing sight distance, passing maneuver, two-lane highways.*

1. INTRODUCCIÓN

Aunque en los últimos años se han construido muchas dobles calzadas en Colombia, La mayoría de las carreteras aún son de dos carriles para dos sentidos de circulación, y lo más común es encontrarlas señalizadas en su totalidad o en la mayoría de su longitud, con línea de piso continua, lo que significa para los conductores, que no es permitido adelantar. Esto se da principalmente por la falta de aplicación de unos criterios claros que permitan identificar cuál debe ser la distancia de visibilidad de adelantamiento requerida por un conductor, pues en la misma legislación, existen contradicciones entre lo que exige El Manual de Señalización del año 2000, vigente en el momento, el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras vigente, el de 1998 y el Código Nacional de Tránsito del año 2006.

Las especificaciones que actualmente preocupan a los diseñadores de carreteras de dos carriles son: apropiados radios de curvatura horizontal o preferiblemente un diseño espiralizado, buenas longitudes de curvas horizontales y entretangencias adecuadas que permitan una transición del peraltado cómoda y bajas pendientes en su rasante; pero no es de su gran interés, el análisis de visibilidad que permita establecer si la combinación de curvas horizontales y verticales es la mejor, saber si la sección transversal es la adecuada, si se están proporcionando las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento necesarias. Esto puede ser, por que estos últimos temas no han sido tan sistematizados como los primeros y requieren un poco de trabajo más manual del ingeniero de diseño.

Se puede decir que son muy pocas las carreteras que han sido señalizadas horizontalmente con la línea continua o discontinua, obedeciendo a un análisis que permita determinar, según la combinación del alineamiento vertical, el horizontal y los taludes laterales, los tramos en los cuales es apropiado adelantar. Esta es una labor que el inspector de señalización realiza empíricamente (“a ojo”) directamente sobre la vía al momento de pintar su línea central. Esto puede ser causado, por falta de conocimiento al respecto en los diseñadores de carreteras o por la negligencia de algunos de ellos para aplicar estos conceptos.

Lo anterior es causa de accidentes y de irrespeto a la norma, pues en los tramos donde es permitido adelantar por medio de la señalización y no se cuenta con la distancia de visibilidad adecuada, los conductores que obedecen la norma y adelantan allí, están en riesgo de accidentes; en las carreteras donde la señalización no permite adelantar y existe la distancia para realizar la maniobra de una forma segura, se pierde el respeto por esa línea continua, ya que está en toda la carretera de una forma indiscriminada.

Para analizar la maniobra en Colombia se deben tener en cuenta algunos aspectos particulares:

- La gran cantidad de la carga se moviliza por carreteras, de las cuales la mayoría son de dos carriles, por tal motivo el porcentaje de vehículos pesados que circula por ellas es alto.
- El terreno montañoso, no permite disponer de oportunidades claras para adelantar, por tanto, para que una carretera no reduzca considerablemente su capacidad por este concepto, se requieren obras de un alto costo, que en su mayoría están relacionadas con el ítem de movimiento de tierras.
- La presencia de vehículos pesados y las pocas oportunidades para adelantar no permiten a los demás vehículos circular a la velocidad que desean.
- La falta de señalización en algunas vías, la señalización incorrecta o la poca coordinación entre las señales verticales y la señalización horizontal, confunden al conductor.



Figura 1. Vía Las Palmas con señalización horizontal y vertical contradictoria

Como se observa en la figura 1, que muestra un tramo de la vía Las Palmas en el oriente antioqueño, la señalización horizontal permite adelantar y la vertical lo prohíbe.

En otros países como España, Chile y Estados Unidos, se han realizado estudios recientes, basados en modelos ya existentes, que pretenden describir la maniobra con un grado cada vez más alto, de aproximación a la realidad, para esto algunos recurren a modelos matemáticos muy complejos que luego verifican con datos de campo y comparan con otros modelos u otras normas internacionales.

En Colombia se han realizado estudios con toma de datos de campo para evaluar esas condiciones, algunos de ellos y sus conclusiones, se analizan más adelante.

2. LEGISLACIÓN COLOMBIANA

Muchas de las carreteras que actualmente se utilizan en Colombia, fueron construidas a comienzos del siglo XX con los criterios de unir muchas poblaciones y de tener el menor costo, pues las labores de construcción eran muy manuales y resultaban poco económicas, por tanto presentan deficiencias en su diseño en cuanto a condiciones de visibilidad y requerimientos para adelantar; es por ello que el Invías y las entidades gubernamentales realizan contrataciones de rectificación o mejoramientos de algunas vías, que muchas veces consisten simplemente en aumentar las distancias de visibilidad de las carreteras, construyendo por ejemplo bermas en las rectas o sobreechanos en las curvas horizontales, o aumentando la visibilidad lateral eliminando obstáculos, todo esto sin cambiar ninguna especificación técnica adicional de la vía.

Define el Invías en su Manual de Diseño Geométrico [1]:

La velocidad máxima más probable con que sería abordado cada elemento geométrico es justamente su Velocidad Específica y es con la que se debe diseñar ese elemento.

Para asegurar la mayor homogeneidad posible en la Velocidad Específica de curvas y entretangencias, lo que necesariamente se traduce

en mayor seguridad para los usuarios, se obliga a que las Velocidades Específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de diseño del tramo (VTR) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora (VTR + 20 km/h).

Se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de adelantamiento, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento, de acuerdo con la Figura 2, se determina como la suma de cuatro distancias, así:

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad (1)$$

Donde:

D_a : Distancia de visibilidad de adelantamiento, en metros.

D_1 : Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción, en metros.

D_2 : Distancia recorrida por el vehículo que adelanta durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, en metros.

D_3 : Distancia de seguridad, una vez terminada la maniobra, entre el vehículo que adelanta y el vehículo que viene en la dirección opuesta, en metros.

D_4 : Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto (estimada en 2/3 de D_2), en metros.

Se utilizarán como guías para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento la figura 2 y los valores indicados en el manual AASHTO 2004 que se presentan en la Tabla 1 para cuatro rangos de Velocidad específica de la entretangencia horizontal (VETH).

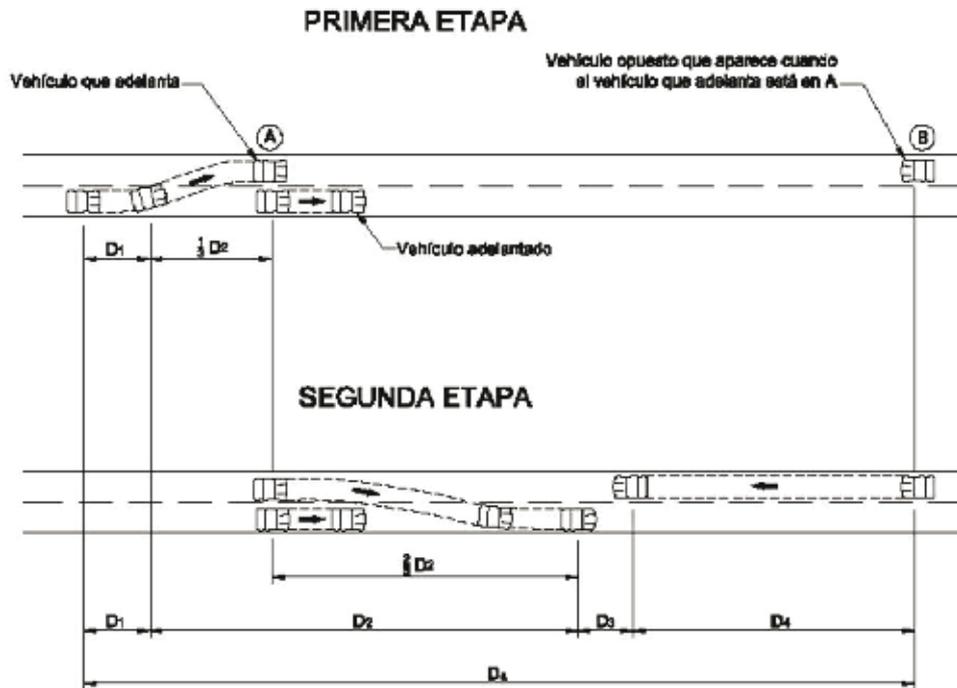


Figura 2. Distancia de visibilidad de adelantamiento.

Tabla 1. Elementos que conforman la distancia de adelantamiento

COMPONENTE DE LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO	RANGO DE VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA V_{ETH} (km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	VELOCIDAD DEL VEHICULO QUE ADELANTA, V (km/h)			
	53.2 ¹	70 ¹	84.5 ¹	99.8 ¹
Maniobra inicial:				
a : Promedio de aceleración (Km/m ² s)	2.25	2.3	2.37	2.41
t_1 : Tiempo (s)	3.8	4	4.3	4.5
d_1 : Distancia de recorrido en la maniobra (m)	45	68	89	113
Ocupación del carril contrario:				
t_2 : Tiempo (s)	9.3	10	10.7	11.3
d_2 : Distancia de recorrido en la maniobra (m)	145	195	251	314
Distancia de seguridad:				
d_3 : Distancia de recorrido en la maniobra (m)	30	55	75	90
Vehículo en sentido opuesto:				
d_4 : Distancia recorrida en la maniobra (m)	97	130	188	209
$D_a = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	317	446	583	726

Valores típicos para efectos de ejemplo de cálculo de las distancias d_1 , d_2 , d_3 , d_4 y D_a .

En la Tabla 2 se presentan los valores mínimos recomendados para la distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a), calculados con los anteriores criterios para carreteras de dos carriles dos sentidos.

Tabla 2. Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos.

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA V_{ETH} (km/h)	VELOCIDAD DEL VEHICULO ADELANTADO (km/h)	VELOCIDAD DEL VEHICULO QUE ADELANTA, V (km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_a (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
20	-	-	120	120
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	528	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Valores obtenidos por extrapolación

En el Manual de señalización vial expedido por el Ministerio de transporte en el año 2004 [2], define la demarcación de las zonas de adelantamiento prohibido en tramos de recta, curva horizontal, curva vertical en donde la distancia de visibilidad para efectuar la maniobra de adelantamiento es mayor que la distancia de visibilidad del sector, teniendo en cuenta la velocidad del 85% (percentil 85) de los usuarios, determinada mediante un estudio de ingeniería de tránsito, o la velocidad de diseño del sector.

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento y la longitud mínima de la línea de prohibido adelantamiento, se calcularán de acuerdo con la velocidad de operación, teniendo en cuenta lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3. Distancias mínimas de visibilidad, para demarcación de zonas de prohibido adelantamiento

Velocidad de operación (Km/h)	Distancia mínima de visibilidad de adelantamiento (m)	Longitud mínima de adelantamiento prohibido (m)
40	140	35
50	150	40
60	170	45
70	210	55
80	240	60
100	324	80
120	400	100

El Código Nacional de Tránsito, ley 769 de 2002 [3] en su artículo 73 en las prohibiciones especiales para adelantar otro vehículo, contempla los siguientes casos:

- En intersecciones.
- En los tramos de la vía en donde exista línea separadora central continua o prohibición de adelantamiento:
 - En curvas o pendientes.
 - Cuando la visibilidad sea desfavorable.
 - En las proximidades de pasos de peatones.
 - En las intersecciones de las vías férreas.
 - Por la berma o por la derecha de un vehículo.
 - En general, cuando la maniobra ofrezca peligro.

Se tienen entonces dos conceptos: velocidad de diseño y velocidad de operación y si nos remitimos al Manual de diseño geométrico para carreteras del Invías encontramos más, pero puntualizando en aquellos que se relacionan con el tema de distancia de visibilidad de adelantamiento, se hace necesario nombrar otro, la velocidad específica, para entender mejor, vamos a las definiciones del Manual:

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad.

En el diseño geométrico de carreteras, se entiende como velocidad de operación de un determinado elemento geométrico, la velocidad segura y cómoda a la que un vehículo aislado circularía por él, sin condicionar la elección de la velocidad por parte del conductor ningún factor relacionado con la intensidad de tránsito, ni la meteorología, es decir, asumiendo un determinado nivel de velocidad en función de las características físicas de la vía y su entorno, apreciables por el conductor. También se interpreta la velocidad de operación como la velocidad a la que se observa que los conductores operan sus vehículos.

La velocidad específica de un elemento de diseño, es la máxima velocidad que puede mantenerse a lo largo del elemento considerado aisladamente, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando encontrándose el pavimento húmedo y las llantas en buen estado, las condiciones meteorológicas, del tránsito y las regulaciones son tales que no imponen limitaciones a la velocidad.

También mencionan en el Manual, que normalmente se asimila la velocidad de operación al percentil 85 de la distribución de velocidades observadas en una localización determinada, es decir, se asume que hay un 15% de los vehículos que circulan a una velocidad superior a la de operación en el elemento. Para tener en cuenta el concepto, generalmente reconocido, sólo se consideran en el análisis de las velocidades las correspondientes a los vehículos livianos que circulan con un intervalo amplio, para no estar así condicionados por una circulación en caravana.

En el Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles, del instituto Nacional de vías en su segunda versión de 1996 [4], se estima que para el cálculo de la capacidad de una carretera de dos carriles es necesario conocer el porcentaje de zonas de no rebase (no adelantamiento) y como considera que esta variable es difícil de medir en el campo, una primera aproximación para su estimación es observar la demarcación horizontal de la vía y que en caso de no disponer de dicha información se podrá asumir que para terrenos planos, ese porcentaje está entre 0 y 20 %, para terreno ondulado entre 20 y 40 % y para terreno montañoso y escarpado entre 40 y 100%.

Con esta información se encuentra un factor de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd), que depende del porcentaje de zonas de no rebase, el cual varía desde 1,00 cuando hay 0% de zonas de no rebase y distribución del tránsito por sentidos con 50/50, hasta 0,50 disminuyendo la capacidad del vía en un 50 %, cuando hay 100% de zonas de no rebase y 100/00 de distribución del flujo por sentidos.

3. ESTUDIOS REALIZADOS EN COLOMBIA

Una vez estudiada la legislación vigente Colombiana y definidos los diferentes conceptos en las velocidades y sus respectivas aplicaciones a la distancia de visibilidad requerida para adelantar en carreteras de dos carriles, se buscaron estudios técnicos que contemplaran la maniobra desde la parte práctica, conociendo la situación y las variables que inciden en ella y se tomaron datos de campo que fueron analizados con detenimiento.

3.1. Estudio realizado por Víctor Gabriel Valencia Alaix [5]

El profesor de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Víctor Gabriel Valencia Alaix, en su tesis de doctorado se encuentra terminando un modelo determinístico de la maniobra de adelantamiento para Colombia.

En el trabajo de investigación de este profesor, se seleccionó un tramo con pendiente longitudinal de 5,32%, anchura de 7,38 m, el lugar de observación es el único que permite el adelantamiento en los 15 km que lo separa con la ciudad de Popayán en la carretera que comunica con Cali. Se utilizó una cámara de vídeo manual colocada en un lugar con

vista lateral del tramo y otra con vista longitudinal. En la primera debido a las limitaciones del equipo sólo se pudo cubrir 120 m del tramo y en la segunda toda su longitud (aproximadamente 350m).

En la vista lateral el tramo cubierto se dividió en secciones de 20 m y con el cronómetro en pantalla (aproximación a la décima de segundo) se podía registrar información para construir gráficas espacio-tiempo para ilustrar las trayectorias de todos los vehículos involucrados (ambos parachoques y sentidos de circulación) en las maniobras de adelantamiento. En la vista longitudinal se determinaron los tiempos parciales que componen la maniobra de adelantamiento según lo establecido por Radelat (1995) para determinar el tipo de adelantamiento, vehículos involucrados, el tiempo de adelantamiento, y la brecha.

En la vista longitudinal se registraron los tiempos parciales de la maniobra de adelantamiento según Radelat, 1995. Las variables que participan en la maniobra de adelantamiento registradas son: tipo de adelantamiento: con o sin seguimiento, tipo de vehículo, posición del vehículo en cola, obstrucción a la visibilidad por talud, sentido de circulación, tipo de regreso, brecha rechazada o no, salto de rana (adelanta un vehículo, vuelve a su carril de circulación, adelanta otro vehículo y vuelve a su carril), o adelantamiento múltiple. Puede intuirse la multiplicidad de combinaciones que pueden resultar, cada una con probabilidad de ocurrencia en el tránsito diferente. Ya que el tránsito tiene una participación alta de automóviles se centrará la atención en las maniobras de adelantamiento donde se involucra el auto como vehículo adelantante y como adelantado.

Debido a que no se pudo obtener una cantidad suficiente de datos para tener resultados confiables estadísticamente dada la gran variedad de situaciones que se presentan en la realidad; esto dirige la atención hacia la alternativa más práctica de construir un modelo de simulación de la maniobra de adelantamientos.

Entre las conclusiones de este estudio podemos citar:

- La obtención de un modelo matemático proveniente de datos de campo de maniobras de adelantamiento, como en este caso, resulta ser complicada ya que en ella participan una gran cantidad de condicionantes y situaciones.

- Los resultados de tiempos parciales que conforman la maniobra de adelantamiento que publica la AASHTO (1994) y el Ministerio de Transporte, 1997 hacen referencia a adelantamientos con seguimiento, pendientes planas y a autos adelantando autos lo cual restringe adicionalmente el nivel de comparación al igual que con otros investigadores.
- Aunque no se pudo establecer todas las condiciones que considera el Manual para proponer estos tiempos y poder saber el grado de comparación que se puede hacer con los resultados de este estudio, hay indicios que permiten concluir que el Manual estaría subestimando la maniobra y se estaría diseñando distancias de visibilidad muy cortas generando en las nuevas carreteras o en las rectificaciones de las existentes condiciones para niveles de servicio bajos.
- La gran multiplicidad de condicionantes involucra la maniobra de adelantamiento permiten justificar cómodamente la creación o calibración de modelos de simulación.
- La prudencia científica sugiere esperar a resultados más completos para lanzar propuestas aplicables al medio.

3.2. Efectos de la distancia de visibilidad en maniobras de adelantamiento realizado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. Julio de 1996. [6]

Se realizaron observaciones por el método del vehículo piloto para medir velocidad de éste (vehículo adelantado), velocidad del vehículo adelantante, velocidad del vehículo opuesto y otros datos más.

A continuación se presentan las características físicas en común de los tres tramos en estudio, para terreno plano, ondulado y montañoso: anchos de calzada de 7,30 m, berma 0,90 m, pavimento flexible y en buen estado, buena señalización y las especificaciones particulares, se detallan en tabla 4.

El principal aporte de la investigación realizada en la UPTC, fue de determinar, con base a observaciones de campo en carreteras colombianas, que la distancia D2 (Distancia recorrida por el vehículo que adelanta durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril), es 1/3

menor que la obtenida por la AASHTO (en ese momento la AASHTO 1994) y esa distancia D2 que según la AASHTO en la primera etapa era 1/3 D2 y en la segunda etapa 2/3 D2 ; no correspondía a dichas proporciones, sino que tanto en la primera como en la segunda etapa era 1/2 D2 por lo anterior, la UPTC, recomendó que la distancia de velocidad de adelantamiento Da en carreteras colombianas se tomara el 90% de los valores recomendados por la AASHTO.

Tabla 4. Especificaciones de los tramos en estudio

Terreno / Especificac.	Plano	Ondulado	Montañoso
Curvas horizontales de radios en metros entre	530 y 2227	230 y 558	40 y 160
Pendiente de la vía, en porcentaje	1,5	Entre 0,6 y 3,4	Entre 2,0 y 12,0
Velocidad de diseño en km/ h	100	90	47

Los datos de las distancias de visibilidad de adelantamiento medidas y clasificadas por tipo de terreno se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Distancias de visibilidad de adelantamiento medidas

Tipo de Terreno	Da (m)
Plano	411
Ondulado	
Tramo 1	414
Tramo 2	403
Montañoso	363

Las velocidades en km/h determinadas para los vehículos que intervienen en la maniobra de adelantamiento se presentan en la tabla 6 velocidades promedio de los vehículos adelantante, adelantado y opuesto, por tipo de terreno. Los resultados presentados indican que algunos supuestos considerados por la AASHTO no se cumplen en Colombia dando indicio para revisar en este sentido las maniobras de adelantamiento en Colombia.

Tabla 6. Velocidades promedio de los vehículos adelantante, adelantado y opuesto, por tipo de terreno en km / hora

Terreno	Vehículo adelantante	Vehículo adelantado	Vehíc. opuesto
Plano	81.2	49.6	ND
Plano	80	60	69
Ondulado			
Tramo 1	79	57	68
Tramo 2	75	53	63
Montañoso	66	46	41

3.3. Toma de datos de campo para el “Análisis de la formulación para determinar la distancia de adelantamiento en carreteras de dos carriles y metodología para su implementación”. Proyecto de Investigación del DIME 2006-2007.

Se buscaron sitios de carreteras de dos carriles en los cuales se dieran adelantamientos, restringiendo la toma de datos a los casos en los que estuvieran involucrados vehículos tipo auto y camión únicamente, fuera auto adelantando auto o auto adelantando camión. Se buscaron sitios con un flujo vehicular tal que permitieran adelantamientos en un sentido, esto implica que hubiera suficiente volumen en el sentido que se tomaron los datos como para producirse los adelantamientos y que en el sentido contrario hubiera poco flujo para que permitiera que se realizara la maniobra.

Se profundizó en la variable velocidad, tomando datos de esta, tanto para el vehículo que va a adelantar como para el vehículo que circula en sentido opuesto, ya que se asumió que el vehículo adelantado circula a la velocidad de diseño.

Se midieron tiempos totales de la maniobra de adelantamiento, se midieron distancias entre marcas determinadas en el terreno, y el tiempo de circulación de los vehículos adelantante y opuesto entre esas marcas, para obtener las velocidades de dichos vehículos.

Se asume que la diferencia de velocidades entre el vehículo adelantado y el adelantante es de 16 km/h.

Se tomaron datos de campo de los segundos que toma en las carreteras cercanas al Valle de Aburrá dicha maniobra; también se tomaron datos de distancia y tiempo de estos vehículos adelantantes,

para determinar la velocidad en el tramo que adelantan; se tomaron datos de distancia y tiempo de los vehículos que circulan en sentido opuesto a la maniobra de adelantamiento cuando los había y por último, se tomó el volumen vehicular en ambos sentidos en el tiempo que se tomaron los datos.

Se controlaron otros aspectos como:

1. Sitios en los cuales la pendiente de la vía, no fuera un factor muy influyente en la maniobra.
2. Si el adelantamiento fue con o sin seguimiento.
3. Si el adelantamiento se hizo de forma segura o no.
4. La incidencia de la señalización de la vía en la decisión de adelantar o no. Al respecto se tomó un sitio representativo de cada uno de los siguientes casos:
 - Señalización permisiva correcta: El sitio permite adelantar según las distancias de visibilidad de pasada del INVIAS y la señalización horizontal es de línea central discontinua.
 - Señalización no permisiva incorrecta: El sitio cumple con las distancias de visibilidad de pasada del INVIAS, pero la señalización horizontal no permite el adelantamiento.

El número de datos a tomar fue de 30, según lo especificado en el libro Principios de Ingeniería de Tránsito de Guido Radelat en la fórmula:

$$n \geq \left(1.96 \times \frac{\tau}{e} \right)^2 \tag{2}$$

n = número de observaciones o tamaño de la muestra a tomar

τ = estimación de la desviación típica de la población, para este caso se tomó 1.4 segundos

e = error tolerable máximo, se consideró 0.5 segundos

Lo anterior, asumiendo que la distribución de variables es normal y que la desviación típica de la población es de 1,4 segundos, condiciones que son ciertas y que se verificaron, después de haber tomado los datos.

De los datos podemos ver la influencia del tipo de vehículo, pues el promedio de tiempo de un auto adelantando un auto fue 6.86 segundos y para auto adelantando camión, de 10.45 segundos.

La longitud del vehículo adelantado influye en esos promedios obtenidos: un auto para adelantar un auto, utiliza en promedio, según los datos de campo de este estudio, 7 segundos y un auto para adelantar un camión utiliza en promedio 10 segundos, si consideramos una longitud del camión de 20 metros y una diferencia de velocidades entre vehículo adelantado y vehículo adelantante de 16 km/h, para recorrer esos 20m metros de longitud del camión, se necesitan 4,5 segundos, en cambio para recorrer los 4,5 metros del auto se requiere 1segundo; podemos decir entonces que esos 3 segundos de diferencia obtenidos en los datos de campo, obedecen a la anterior explicación, confirmando así el valor de la diferencia de velocidades entre vehículo adelantado y adelantante.

De los datos de campo tomados en este estudio y de algunas observaciones que se hicieron en sitios donde no estaba permitido adelantar y no cumplían con la distancia de visibilidad de adelantamiento según la norma del Invías, se puede evidenciar, el poco respeto por las señales de tránsito en las carreteras y aún más, la falta de observación de la señalización presente, esto debido tal vez a la poca penalización que conlleva un incumplimiento de esta. En el caso específico de la señalización horizontal de piso con línea continua que prohíbe los adelantamientos, se ve como la señalización indiscriminada de carreteras con la línea continua en toda su longitud, sin permitir adelantar en algunos tramos que pudiera permitirse para determinado tipo de vehículos, conlleva a que los conductores pierdan por completo el respeto a dicha señalización, haciendo caso omiso de ella.

Después de realizar la toma de datos de campo y hacer el respectivo análisis estadístico, se puede apreciar la influencia que tiene la pendiente de la vía en la duración de la maniobra, por ejemplo en el sitio 1 escogido, cuya pendiente en el sentido Medellín- Alto de las Palmas (M-A) era bajando, se puede apreciar una disminución en el tiempo de la maniobra de los vehículos que la realizaron y un aumento de la velocidad de los vehículos adelantantes en comparación con los datos de los vehículos que adelantaron e iban en sentido opuesto de circulación.

4. CONCLUSIONES

No fue posible encontrar una explicación técnica que sustente por qué en la mayoría de los Manuales de Diseño Geométrico de carreteras de dos carriles de los diferentes países consultados, se presentan unos valores para las distancias de visibilidad de adelantamiento muy superiores a las indicadas en los respectivos manuales de Señalización de dichos países. Es más muchos de los autores estudiados, plantean la misma inquietud.

De la investigación realizada por la autora de este artículo podemos concluir varios aspectos:

El adelantamiento seguro, demora más tiempo que el inseguro y tiene menor velocidad promedio de sus vehículos adelantantes y el adelantamiento con seguimiento demora más y tiene velocidades promedio menores, como era de esperarse.

Es necesario seguir estudiando el tema en Colombia, para entender mejor la maniobra y utilizar ciertas particularidades en la normatividad que permitan por ejemplo disminuir para terrenos de montaña, la exigencia de la distancia de visibilidad de adelantamiento requerida, según el tipo de vehículos implicados en la maniobra (esto, dado que los tiempos medidos en este estudio y en otros comprueban que NO SE REQUIEREN distancias tan grandes para realizar la maniobra de una forma segura). Es por ello que se considera que se pueden adoptar para Colombia las distancias de visibilidad de adelantamiento de su Manual de Señalización, para la maniobra entre auto adelantando auto.

Después de estudiar a fondo el problema de los adelantamientos, se ve la posibilidad de ampliar el tema estudiando la influencia que tienen sobre la maniobra muchas otras variables que a veces no consideramos tan importantes, como puede ser la parte psicológica y cultural del conductor, pues bajo unas mismas condiciones de vehículo y vía, cada persona actúa según su educación, otra variable por estudiar puede ser la pendiente de la vía, el tipo de vehículo, etc, etc.

Es necesario señalar indicando la velocidad de circulación máxima permitida en el sector donde se permita el adelantamiento, para que se entienda que para circulación a esa velocidad, existe la distancia de visibilidad de adelantamiento de una

forma segura. Además es necesario señalar en el piso donde se puede iniciar la maniobra de adelantamiento invadiendo el carril de sentido contrario y donde se debe realizar el retorno al carril, para evitar confusiones al indicar solamente donde se permite adelantar, sin precisar que aunque esté señalado con línea discontinua, no se puede iniciar la maniobra en cualquier sitio de esa longitud, pues hacia delante, no existirá la distancia completa mínima para adelantar de una forma segura.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección de Investigaciones de La Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (DIME), por la colaboración con el presupuesto para los trabajos de campo. Se agradece también al Doctor Hugo Correa Roldán y al Profesor Giovanni Martínez Martínez por su colaboración desinteresada.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Instituto Nacional de Vías: Manual de diseño Geométrico de Carreteras, Colombia, 1998.

[2] Ministerio de Transporte: Manual de Señalización vial, Colombia, 2004.

[3] República de Colombia. Código Nacional de Tránsito: ley 769 de 2002.

[4] Instituto Nacional de Vías y Universidad del Cauca. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles. Segunda versión, 1996.

[5] Valencia Alaix, Victor G. Modelo determinístico para la maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia. [PhD Tesis]. Madrid España, Universidad de Cataluña, 2008.

[6] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Efectos de la distancia de visibilidad en maniobras de adelantamiento, Tunja, 1996.