
APROXIMACIÓN A LA JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE CARRILES DE ASCENSO EN COLOMBIA MEDIANTE SIMULACIÓN.

Víctor Gabriel Valencia Alaix
Profesor Asociado Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia-Sede
Medellín, Calle 65 N° 78-28 M1-117, Medellín, Colombia. 57-4-4255152.
E-mail: vgvalenc@unal.edu.co

Dr. Alfredo García García
Catedrático, Departamento de Transportes, Universidad Politécnica de Valencia. Camino de
Vera, s/n. 46071-Valencia. España. 34-963877379. E-mail: agarciag@tra.upv.es

RESUMEN

Debido a indicios sobre la falta de representatividad del camión de diseño utilizado en la norma de la Longitud Crítica de Pendiente (LCP) del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia de 1997 (MDGCC'97) y consecuentemente de su uso en la justificación técnica de carriles de ascenso se adelantó este estudio para revisarla usando como herramienta de simulación el TWOPAS y observaciones de la operación vehicular realizadas en un Tramo Experimental.

Con base en las experiencias de calibración del TWOPAS lograda hasta un nivel aceptable se realizaron simulaciones de la operación del camión de diseño recomendado en rampas de diferente pendiente para obtener nuevos valores de LCP y por ende la justificación técnica de la dotación de un carril de ascenso.

Se presenta la problemática de las carreteras de dos carriles, de antecedentes de investigación, resumen del estado del arte, la metodología empleada, condiciones de simulación, resultados de la disminución de velocidad del camión de diseño al circular por la rampa y comparación con la norma vigente en el MDGCC'97.

Palabras clave: carril de ascenso, TWOPAS, carreteras de dos carriles.

ABSTRACT

Due to a lack of truck design representatively used in the Critical Grade Length (CGL) policy of Colombia (1997) and consequently its use in the climbing lanes technical warrants this investigation was carry out with the purpose of review that policy applying TWOPAS using vehicular operation measurements on an experimental section.

On the basis of calibration's experiences with TWOPAS achieved until an acceptable level simulations with the design truck was executed on different grades to obtain new values of the CGL and consequently the technical warrants of climbing lanes provision.

The two-lane rural roads problematic, the investigation's background, the state of the art, the methodology, simulation's conditions, results of the design truck speed along the ascending grade and the comparison with the actual Colombian policy are shown.

Keywords: climbing lane, TWOPAS, two-lane road.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la concentración de la población colombiana en la zona montañosa del país su red de carreteras de dos carriles se caracteriza por tener pendientes muy pronunciadas, largas, curvas cerradas y gran presencia de camiones que produce en el tránsito mixto una operación pobre. Una solución a esto ha sido la provisión de carriles de ascenso en pendientes ascendentes que el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras de 1997 (Ministerio de Transporte de Colombia, 1997), MDGCC'97, justifica su construcción según criterios técnicos que son objeto en este trabajo sobre su efectividad operacional en las condiciones reales del tránsito.

Valencia (1994) y Valencia et al., (1996) observaron la relación peso/potencia de una muestra importante de camiones en diferentes carreteras de Colombia concluyendo sobre las implicaciones en la representatividad del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio en carreteras de Dos Carriles de Colombia que se considera oficialmente desde 1996 (Ministerio de Transporte y Universidad del Cauca, 1996 b) en vez del HCM.

Posteriormente con esos resultados Valencia (1998 b) analizó las justificaciones técnicas en la normativa colombiana para dotar carriles de ascenso y encontró la gran diferencia entre la relación peso/potencia de camiones medida en la vía y la considerada para el vehículo de diseño del MDGCC'97 ante lo cual se recomendó analizar con detalle este asunto.

Las mediciones realizada por Valencia et al. (1996) y en un tramo experimental para la calibración del modelo de microsimulación en carreteras rurales de dos carriles TWOPAS situado entre Popayán y Piendamó en Colombia (Valencia y García, 2002, Valencia y García, 2005 y Valencia y García, 2006) arrojaron los resultados de la Tabla N°1 de las relaciones Peso/Potencia típicas y percentil 85 (Este último usado para definir el camión de diseño) que son mayores a los considerados en el MDGCC'97 de 135 kg/cv y 90 kg/cv lo cual sugiere revisar sus directrices.

A través de otros estudios se propusieron metodologías que usaban el TWOPAS para revisar algunas normas del MDGCC'97 sobre el diseño en perfil reportados por Valencia (2006) y Valencia et al (2007) para las condiciones reales de las carreteras colombianas, especialmente para la pendiente máxima y longitud crítica relacionados estrechamente con la justificación técnica de carriles de ascenso.

El trabajo que se presenta tiene planteado los siguientes objetivos:

- Completar la revisión de valores de longitud crítica de pendiente que realizaron Valencia et al (2007) con nuevos parámetros del modelo de simulación.
- Revisar las directrices del MDGCC'97 para la justificación de carriles de ascenso y proponer mejoramientos aplicando simulación.
- Realizar una propuesta metodológica para revisar normas de diseño geométrico como la justificaron de carriles de ascenso.

Tabla 1. Relaciones peso/potencia de camiones en Colombia.

RELACIÓN PESO/POTENCIA MEDIDAS EN COLOMBIA (kg/cv)						
TIPO DE VEHÍCULO	TRAMO EXPERIMENTAL		CARRETERAS MEDELLIN Y BOGOTA.		PROMEDIO DE LAS DOS FUENTES	
	Valor promedio (1)	PE/PO 85	Valor promedio (2)	PE/PO 85	Valor promedio (1)	PE/PO 85
C2-Grandes	107.64	143.37	108.8	142.2	108.20	142.77
C3	119.56	143.00	115.5	145.1	117.52	144.03
C3S2	146.04	157.13	133.5	168.4	139.78	162.77
C3S3	147.29	196.29	156.0	181.5	151.66	188.88

1- Elaboración propia. VALENCIA, V. y A. GARCÍA. (2002). Estudio experimental de la maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia. Editores: Angel Ibeas y José María Díaz y Pérez de la Lastra. V Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT2002) Santander (España). 11 al 13 de junio.

2- Elaboración propia. Valencia A., V. G.; Osorno, M. E. y Bedoya, V. E. (1996). Relación Peso/Potencia de Vehículos Pesados en Colombia. Memorias del IX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Informe de Investigación: Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín y Instituto Nacional de Vías. Diciembre 6. La Habana (CUBA).

2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Sobre carriles de ascenso se ha realizado una revisión que describió con detalle Valencia (1998 a) concluyendo que la capacidad de la operación vehicular del parque automotor en Latinoamérica difería del de EEUU pues a través de diferentes estudios ha sido posible detectar que el camión tipo con relación peso/potencia de 180 kg/kW (135 kg/c.v.) usado en Estados Unidos no es apropiada para las condiciones de otros países y que supone desarrollar criterios y especificaciones técnicas diferentes a aquellas propuestas por la AASHTO (1994) y que tradicionalmente han sido acogidas y aplicadas directamente en otros países (Archilla y Fernández de Cieza, 1996; Valencia et al., 1996; Mendoza y Mayoral, 1994; Andueza et al., 1994).

Archilla y Fernández de Cieza (1996) observaron sitios en las carreteras argentinas para proponer un modelo calibrado que estimase la velocidad de camiones en pendientes ascendentes de cualquier porcentaje y longitud, el estudio también permitió determinar el comportamiento de los camiones en las pendientes ascendentes observadas y determinar la relación peso/potencia. Andueza (1994) detectó diferencias importantes entre la aplicación de los procedimientos para calcular la capacidad y niveles de servicio de carreteras de dos carriles venezolanas usando el método del HCM y observaciones en tales vías. Mendoza y Mayoral (1994) en México proponen procedimientos alternativos para analizar la dotación de carriles de ascenso.

Posteriormente Valencia (1998 b) analiza estos criterios internacionales frente a las condiciones particulares de Colombia de infraestructura y tránsito que se resume en la Tabla 2 (al final del texto) de la cual se debe aclarar que el criterio que ahí aparece del HCM'95 se conserva en la versión de 2000, que el criterio de AASHTO'94 se conserva en el de 2004 y por su parte, Wolhuter (2001) revisa el criterio de la demora para justificar carriles de ascenso complementando con criterios económicos similares a los sugeridos en el MDGCC'97.

Según lo que dice Valencia (1998 b) sobre carriles de ascenso en Colombia se destaca:

El criterio de seguridad que sugiere no superar en 15 km/h el diferencial de velocidad entre el vehículo lento y aquellos que pueden mantener la velocidad deseada para que el índice de accidentalidad comprometida no se eleve peligrosamente podría tener aplicación pues en los

tramos de carretera estudiados por Valencia et al (1996) se presentan diferenciales de 18 km/h y 35 km/h.

Además se concluyó que las condiciones particulares de operación en Colombia no permiten que los criterios empleados mundialmente para justificar carriles de ascenso sean aplicables adecuadamente, por ello, es conveniente realizar estudios más detallados que conduzcan a la creación de una metodología particular y también se recomendó revisar el vehículo pesado de diseño, las normas sobre Longitud Crítica de Pendiente (LCP) y pendiente máxima del MDGCC'97.

El MDGCC'97 introduce el concepto de LCP, definida como la máxima longitud en rampa sobre la cual un camión cargado puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor prefijado. Se muestra valores de LCP para reducción de velocidad de 8, 15 y 25 km/h y camiones pesados de 300 lb/HP y 200 lb/HP.

Metodología.

Para la revisión de la directriz sobre LCP que contiene el MDGCC'97 se desarrolló la siguiente metodología que parte de la aplicación de las definiciones para obtener la LCP y consecuentemente el criterio usado en dicho manual para justificar carriles de ascenso en forma parcial pues solo se considera en este trabajo la reducción de velocidad de 25 km/h para aproximarse a dicha norma.

1. Definir el camión de diseño que se caracteriza como aquel tipo de camión con relación peso/potencia más alta de todos los tipos de camión que se clasifican en Colombia y se toma el percentil 85 de la distribución de valores medidos en campo de tal indicador obteniéndose el C3-S3 (camión con unidad tractora de 3 ejes y un semiremolque con 3 ejes) con relación peso/potencia de 188,9 kg/cv equivalente a 422.23 lb/HP como se mostró en la Tabla 1.

2. Determinar las demás características del camión de diseño necesarias para su simulación en el programa TWOPAS como relación entre el peso y área frontal, longitud, correcciones aerodinámicas, por altitud, etc.

3. De acuerdo al criterio técnico de reducción de velocidad de operación en 25 km/h del camión de diseño a lo largo de la pendiente desde su inicio que considera el MDGCC'97 primero para definir la LCP y consecuentemente una de las justificaciones para dotar de carriles de ascenso se especifica en el TWOPAS (TAM) una vía virtual en la cual se simula la operación del camión en condiciones particulares como las siguientes:

- Vía con un tramo horizontal de 1 km seguido de otro tramo con longitud de 5 km y pendiente longitudinal variando desde 2,0% hasta 9% con incrementos de 0,5%.
- La curva vertical en el único Punto de Inflexión Vertical (PIV) consideró la longitud mínima para una curva vertical cóncava simétrica como lo establece el MDGCC'97.
- Velocidad deseada del camión de diseño (C3S3) de 47.46 km/h y desviación estándar de 10.93 km/h medidas en un tramo recto y plano a vehículos a flujo libre en la carretera del Tramo Experimental.

- Percentil 85 de la Relación Peso/Área frontal del camión de diseño (C3-S3) de 4,98079 Tn/m² o 1020,1 lb/pie² obtenidos de Valencia et al., (1996).
- Longitud del vehículo de diseño (C3S3) de 14,09 m o 46,23 pies medida en filmaciones realizadas en el Tramo Experimental.
- Calzada de 7,30 m con bermas de 1,80m y Bombeo de 2%.
- Volumen de 5 camiones/h para representar condiciones de flujo libre y minimizar los efectos de interacción vehicular y la formación de grupos de vehículos en la carretera hipotética de este estudio.
- Composición vehicular: %camiones = 100, %Vehículos recreativos=0, y %auto=0 para obtener en los resultados operacionales el comportamiento solo del camión de diseño asumido.

4. Se aplicó el TWOPAS calibrado para representar de manera aceptable la operación real del camión de diseño por la vía virtual teniendo cuidado de usar un tiempo de calentamiento adecuado, de simulación suficiente, tener en cuenta de especificar a lo largo de la vía estaciones de control cada 100 m a partir del km0+000 hasta k5+900 en las cuales TWOPAS simula las variables operacionales de interés, en este caso, la velocidad de operación.

Según Archilla (1996) opina que debido a que TWOPAS requiere mucha información de entrada y contiene muchos parámetros en los modelos que lo componen se hace difícil su calibración al rango amplio de condiciones de carreteras rurales, de vehículos y de tránsito que se encuentran en los países, por lo tanto, el objetivo principal de su investigación fue hacer más fácil a los usuarios la calibración y aplicación del TWOPAS para evaluar las mejoras de las carreteras rurales bajo un amplio rango de condiciones. Para esto realizó un extenso análisis de sensibilidad que implicó casi 2300 ejecuciones para verificar el comportamiento del TWOPAS bajo un amplio rango de condiciones e identificar las suposiciones y restricciones claves del modelo.

En general el análisis de sensibilidad consideró el efecto de cambio de parámetros y datos de entrada en algunos resultados de la simulación así: Coeficiente de variación (CV) de la distribución de la velocidad deseada y la distribución direccional (DD) sobre la relación velocidad-flujo, CV de la distribución de velocidades deseadas y DD sobre la demora por tránsito promedio, CV de la distribución de velocidades deseadas y DD sobre el porcentaje de tiempo demorado, porcentaje en seguimiento a la entrada, pendientes y el tránsito con 100% de automóviles, camiones en terreno plano, camiones en pendientes, parámetros del modelo de seguimiento de autos, parámetros de desempeño de los autos, efecto combinado de porcentaje de zonas adelantamiento prohibido y distribución direccional en terreno plano y efecto combinado de porcentaje de zonas adelantamiento prohibido y la distribución direccional en pendientes.

Con base en lo anterior y teniendo conocimiento detallado de las condiciones de infraestructura y tránsito del tramo experimental (Valencia y García, 2002) donde se filmó la operación vehicular desde posiciones transversal y longitudinal de la vía para obtener de tales registros fílmicos el valor de variables como velocidad puntual espacial y temporal, intervalos, brechas de seguimiento, brechas aceptadas y rechazadas en maniobras de adelantamiento, maniobras de adelantamiento con todo detalle, volumen, composición vehicular, formación de grupos de vehículos, porcentaje de tiempo en seguimiento, aceleraciones, demoras en seguimiento, etc., en fin, información suficiente para calcular los valores en el tramo experimental de los indicadores

que entrega TWOPAS en sus resultados y poder compararlos con los simulados para conocer el grado de aproximación entre ellos y determinar el grado de calibración obtenida.

El desarrollo de la calibración implicó modificar algunos parámetros y datos de entrada al modelo de manera que representasen las condiciones del tramo experimental a través de una serie de simulaciones en las cuales se variaban orientados por los resultados del análisis de sensibilidad realizada por Archilla (1996) y complementados con otras simulaciones a manera de análisis de sensibilidad particular buscando que el grado de ajuste entre los indicadores medidos en el tramo experimental y los simulados por TWOPAS fuese el mejor posible lográndose las que se muestran en la Tabla N° 3.

Tabla 3. Grado de calibración del TWOPAS.

PORCENTAJE DE EXCESO DEL VALOR DEL INDICADOR OPERACIONAL SIMULADO POR TWOPAS CON RESPECTO AL MEDIDO EN EL TRAMO EXPERIMENTAL

Abscisas del Tramo experimental (10650.000 to 10770.000 increasing; 10770.000 to 10650.000 decreasing)

Traffic Output Data	Direction of Travel		
	Increasing Station	Decreasing Station	Combined
Flow Rate from Simulation (v/hr)	6%	1%	3%
Percent Time Spent Following (%)	143%	25%	94%
Average Travel Speed (km/h)	-13%	5%	-2%
Trip Time (min/veh)	33%	0%	0%
Traffic Delay (min/veh)	ND	ND	ND
Geometric Delay (min/veh)	0%	-100%	ND
Total Delay (minutes/vehicle)	200%	-200%	ND
Number of Passes	-7%	-100%	0%
Vehicle km Traveled	5%	0%	0%
Total Travel Time (veh-hrs)	25%	0%	0%
PORCENTAJE PROMEDIO	27%	-10%	14%
PORCENTAJE PROMEDIO DEL VALOR ABSOLUTO	15%	18%	1%

Se debe aclarar que no se contabilizó dentro del porcentaje promedio de aproximación entre el valor simulado y el real el Porcentaje de Tiempo en Seguimiento debido a que este valor simulado por TWOPAS arrojó cuantías muy diferentes a los resultantes de la aplicación de la definición dada por TWOPAS y usando las mediciones en el Tramo Experimental y que se encuentra en análisis más detallados para resolver este dilema. En el caso del los porcentaje tan altos obtenidos para la demora total se deben principalmente a la diferencia tan pequeña, a nivel de centésimas, que existen entre los valores que se relaciona con los valores también muy pequeños de referencia del indicador medido en el tramo experimental. De igual manera sucede para la demora geométrica. En el sentido ascendente de circulación se obtuvo resultados simulados por TWOPAS un 27% por encima a los medidos, en el sentido descendente fue del 10% por debajo y combinando los dos sentidos de circulación se logró un 14% en promedio de los valores de los resultados simulados por TWOPAS por encima de los medidos. Debido a la complejidad del proceso de calibración estos resultados son susceptibles de mejorar con estudios

y análisis posteriores que se han logrado identificar y se recomienda realizar con nuevas investigaciones.

5. Construir con base en los resultados de la simulación las curvas de distancia recorrida a partir del inicio de la pendiente y la velocidad puntual promedio simulada del camión de diseño, en cada estación de registro.

6. Según los resultados anteriores y aplicando la definición de LCP del MDGCC'97 se obtuvieron curvas de disminución de la velocidad de operación en rampa como se ilustra en la Figura 1 representando la disminución de velocidad de 8, 15 y 25 km/h para cada valor de inclinación; en la misma figura se han trazado también con líneas discontinuas las curvas que contiene el MDGCC'97 para el camión pesado típico de 300 lb/HP (135 kg/cv).

Con relación a este tema se hacen las siguientes observaciones:

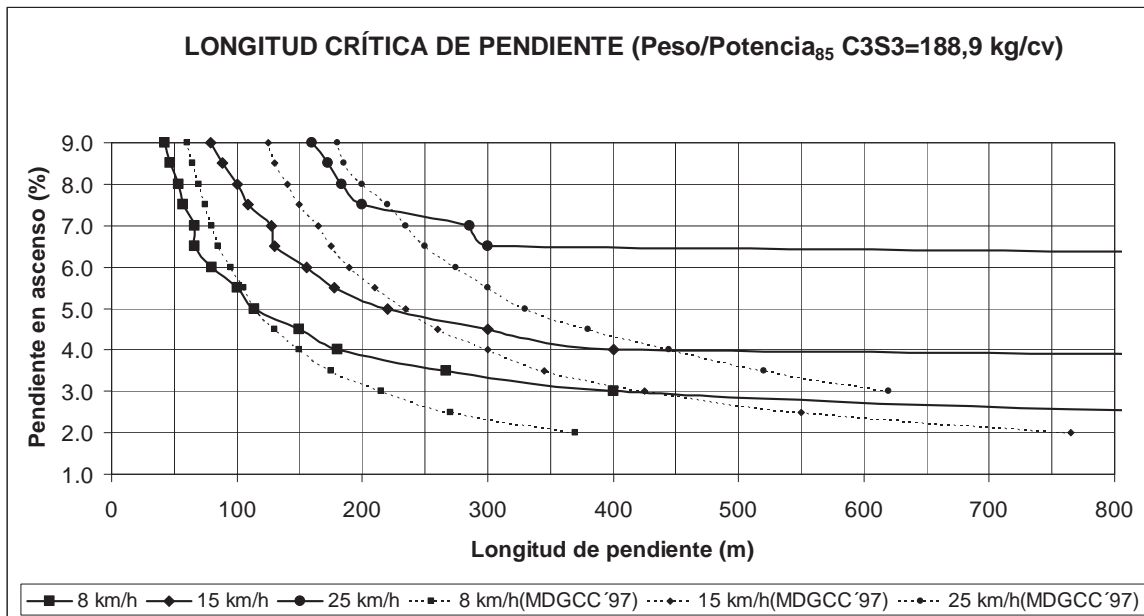
Se concluye que el MDGCC'97 estaría recomendando LCP ligeramente mayores a las obtenidas en este estudio para pendientes mayores o iguales a 7,5% y LCP menores para pendientes menores que 7,5%. Las causas de esta diferencia podrían ser:

- La consideración de un camión de diseño de menor relación Peso/potencia, es decir, con mejor capacidad operacional que el considerado en este estudio.
- Al supuesto de una mayor velocidad de entrada a la rampa de 88 km/h que es mucho mayor que la considerada en este estudio de 47,5 km/h obtenida de observaciones en el campo para terreno plano y flujo libre que a su vez resulta aproximada a la velocidad que se obtiene para las mismas condiciones de la simulación aplicando el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles de Colombia (Ministerio de Transporte y Universidad del Cauca, 1996).
- El modelo de simulación usado no es mencionado en el MDCC'97.

Si se comparan las curvas de reducción de velocidad del camión de diseño de este estudio y las estipuladas en el MDCC'97 para un camión pesado típico de 200 lb/HP (90 kg/cv) se concluye que el MDGCC'97 estaría recomendando LCP mayores a las obtenidas en este estudio para pendientes mayores o iguales que 6,5%.

El MDGCC'97 especifica en el aparte sobre carriles de ascenso las definiciones, los criterios y las normas para la dotación de estos en carreteras de dos carriles indicando que es deseable proporcionar un carril de ascenso, cuando se exceda la longitud crítica de subida, supuesto que el volumen de tránsito y el porcentaje de camiones justifiquen el costo adicional que ello implica.

Muestra también los volúmenes mínimos de diseño horario para los cuales se consideran carriles de ascenso para una "Serie Típica" de condiciones sobre vías de dos carriles.



FUENTE: Ministerio de Transporte. (1997) Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. Santafé de Bogotá, D. C.: Instituto Nacional de Vías. Colombia. Figura 3.4.1.

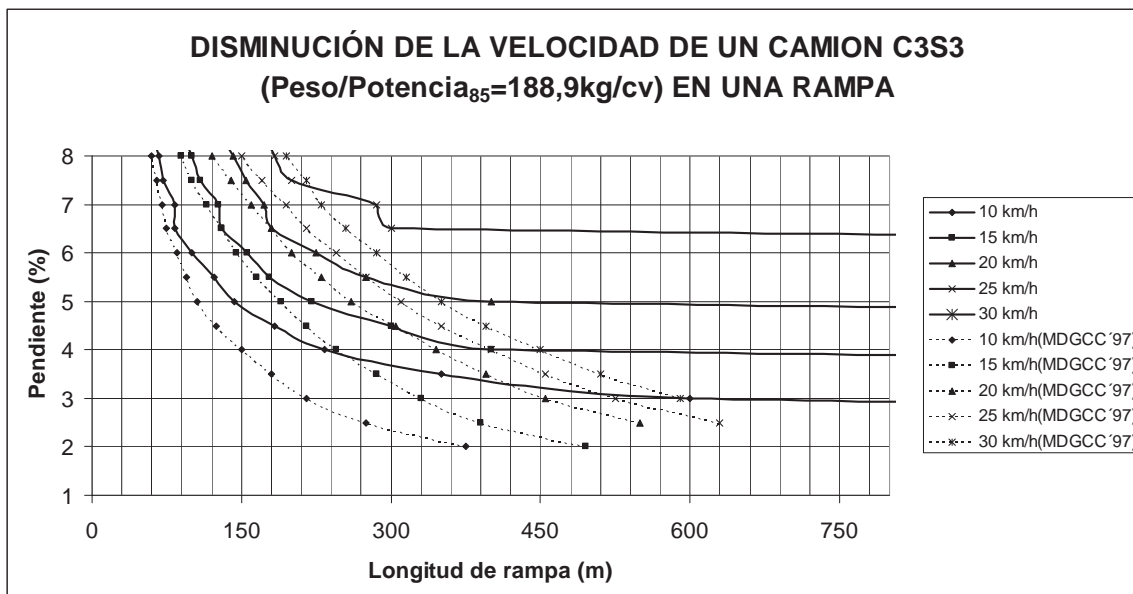
Figura 1. Comparación de LCP del MDGCC'97 con camión de 135 kg/cv y el camión de diseño C3S3.

En este trabajo no se aportan aún recomendaciones sobre los volúmenes mínimos porque el estudio se encuentra en desarrollo y solo se muestran resultados sobre disminución de la velocidad del camión de diseño dando el carácter a este trabajo de aproximación a las justificaciones de carriles de ascenso para la normativa colombiana.

En la Figura 2 se muestran las curvas que representan los resultados de este estudio y subpuestas las curvas que emplea como directriz el MDGCC'97 en términos de disminución de la velocidad de un camión de diseño en una rampa de cuya comparación se hacen los siguientes comentarios:

- La curva de reducción de velocidad de 25 km/h que contiene el MDGCC'97 para LCP (Figura 1) es diferente a la considerada para justificar carriles de ascenso (Figura 3).
- El MDGCC'97 no especifica el vehículo de diseño considerado para producir esta directriz usada para proporcionar un carril de ascenso que debería corresponder a cuando se supera la LCP y como se advierte en el punto anterior parece no corresponder a ninguno de los dos camiones de diseño que contempla el MDGCC'97 (135 kg/cv y 90 kg/cv). Según las comparaciones anteriores se puede deducir que tiene una relación peso/potencia mayor a 188,9 kg/cv.
- No se especifica la velocidad de entrada a la pendiente que tiene implícita la directriz.
- Las longitudes de rampa resultantes en este estudio son ligeramente mayores a las recomendadas en el MDGCC'97 para pendientes mayores o iguales a 7,5% y muy superiores para las demás pendientes si se considera como criterio reducción de velocidad el camión de 25 km/h.
- Conviene reiterar lo observado por Valencia (1998) sobre el criterio de reducción de velocidad de 25 km/h que resulta muy exigente para las condiciones de operación de

camiones en carreteras colombianas debido a su baja velocidad prevaleciente en la carretera y en pendientes ascendentes observadas de 23 a 29,8 km/h para pendientes entre 6 y 6,9% recomendándose usar como criterio una diferencia de velocidad de 20 o 15 km/h.



FUENTE: MINISTERIO DE TRANSPORTE. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (1997) Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. Santafé de Bogotá, D. C.: Instituto Nacional de Vías. Colombia. Figura 3.4.2.

Figura 2 Disminución de la velocidad de un camión de diseño del MDGCC'97 y del C3S3 en una rampa.

3. CONCLUSIONES

- El MDGCC'97 considera camiones de diseño que no son representativos del medido en las carreteras colombianas pues sobreestiman la capacidad operacional conduciendo a normas de diseño de LCP muy exigentes que se recomienda adaptar considerando los resultados de este estudio basado en observaciones reales del tránsito.
- El camión de diseño considerado en la directriz del MDGCC'97 para justificar la dotación de un carril de ascenso no se especifica pero su relación peso/potencia se considera similar al asumido en este estudio, sin embargo, su comportamiento en rampas con diferentes pendientes justifica la dotación de carriles para pendientes mayores a 5,5% en longitudes un poco mayores y para inclinaciones menores a 5,5% en longitudes menores probablemente por un supuesto de velocidad de entrada mayor al considerado en este estudio.
- Según el estado del conocimiento, recomendaciones según Valencia (1998 a) y Valencia (1998 b) y los resultados de este estudio indican que hace falta analizar otros criterios para proponer un mejoramiento completo a las normas de diseño para la justificación de carriles de ascenso pero lo encontrado hasta ahora indica que se requiere una modificación que reconozca la realidad del parque automotor.

- La metodología desarrollada en este estudio puede ser aplicada en otras condiciones que pudieran representar las condiciones de otros países como alternativa para revisar las normas de diseño geométrico e inclusive de señalización y adaptarlas a sus realidades de operación vehicular.

BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO. (2004) **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. AASHTO. Washington, D.C. EEUU.

ARCHILLA, A. R. (1996). **Test and Evaluation of the TWOPAS rural traffic simulation model**. Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña. Universidad Nacional de San Juan. Argentina. Prepared for: Pan-American Institute of Highways. Research Center: Federal Highway Administration. Turner-Fairbank Highway Research Center. McLean, Virginia.

Archilla, A. R. y Fernández de Cieza, A. O. (1996). Truck Performance on Argentinean Highways. **Transportation Research Record 1555**, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp. 114-123.

Khan, A. M., Holtz, M., Yiecheng, Z., Jagannathan, R. y Razaqpur F. (1990). **Heavy Vehicle Performance on Grade and Climbing Lane Criteria**. Research and Development Branch, Ministry of Transportation. Ontario, Canadá.

Mendoza, A. y Mayoral, E. (1994). Economic Feasibility Procedure for Climbing Lanes on Two-Lane Roads in México. **Transportation Research Record 1457**, TRB, National Research Council, Washington, D. C. Estados Unidos de América.

Mendoza, A. y Mayoral, E. (1996). Design Guidelines for Truck Lanes on Mexican Two-Lane Roads. **Transportation Research Record 1523**, TRB, National Research Council, Washington, D. C. Estados Unidos de América.

Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías y Universidad del Cauca. (1996 a) Diagnóstico preliminar respecto a capacidad y niveles de servicio en la red vial nacional. Universidad del Cauca. Popayán. Colombia.

Ministerio de Transporte y Universidad del Cauca. (1996 b). **Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de dos Carriles. Segunda versión**. Universidad del Cauca e Instituto Nacional de Vías. Santafé de Bogotá, D. C. Colombia.

Ministerio de Transporte. (1997) **Manual de Diseño Geométrico para Carreteras**. Santafé de Bogotá, D. C.: Instituto Nacional de Vías. Colombia.

St. John, A. D., y Harwood, D. W. (1991). Safety Considerations for Truck Climbing Lanes on Rural Highways. **Transportation Research Record 1303**, TRB, National Research Council, Washington, D. C.

Valencia A., V. G., Universidad Nacional De Colombia - Sede Medellín. (1994). Relación Peso/Potencia de Vehículos Pesados en Carreteras Antioqueñas. **III Seminario de Capacidad, Niveles de Servicio y Mejoras de Carreteras de Dos Carriles**. Popayán: Instituto de Posgrado en Vías e Ingeniería Civil. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Valencia A., V. G.; Osorno, M. E. y Bedoya, V. E. (1996). Relación Peso/Potencia de Vehículos Pesados en Colombia. **Memorias del IX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**. Informe de Investigación: Universidad Nacional De Colombia - Sede Medellín y Instituto Nacional de Vías. Diciembre 6. La Habana (CUBA).

Valencia A., V. G. (1998 a) **Estudio de rampas en carreteras convencionales para la optimización del alineamiento y sus efectos operacionales, ambientales y económicos**. Tesina de especialización. Universidad Politécnica de Valencia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. España.)

Valencia, V. (1998 b). “Justificaciones de carriles de ascenso en Colombia”. **X Congreso Panamericano sobre Ingeniería de Tránsito y Transporte**. 21 a 24 de septiembre. Santander (España)

Valencia, V. y García, A. (2002). Estudio experimental de la maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia. Editores: Angel Ibeas y José María Díaz y Pérez de la Lastra. **V Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT2002)** Santander (España). 11 al 13 de junio.

Valencia, V. y García, A. (2006). Calibración y aplicación del TAM (TWOPAS) en una carretera convencional en Colombia con propósitos de mejoramiento de la capacidad y nivel de servicio. (Póster). **Memorias del XIV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**. Septiembre 20 a 23. Las Palmas de Gran Canaria (ESPAÑA).

Valencia, V. (2006). Necesidades de adaptación del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia. **Memorias del Segundo Congreso de Vialidad y Tránsito. EXPOVIAL 2006**. Cámara Colombiana de la Infraestructura Seccional Occidente. 14 y 15 de junio. Santiago de Cali, Colombia.

Valencia, V; Velásquez C, H. A. e Higuera T., S. Y. (2007). Propuesta de mejoramiento de las normas de diseño geométrico en carreteras de dos carriles. Pendiente y longitud crítica. **Memorias del VIII Simposio Colombiano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**. Agosto 18. Popayán. (COLOMBIA).

Wolhuter, K. M. (2001). A Partial Economic Warrant For Climbing Lanes. **20th South African Transport Conference, ‘Meeting the Transport Challenges in Southern Africa’** Organised by: Conference Planners Conference, Papers Produced by: Document Transformation Technologies, 16 – 20 July, South Africa.

TABLA 2. CRITERIOS PARA JUSTIFICAR LA DOTACIÓN DE CARRILES DE ASCENSO

CRITERIO	TTEH 76	NAASRA 85	RTAC 86	WOLHUTER y POLUS 88	MITO 90 Khan et al., 1990	ST. JOHN y HARWOOD 91	AASHTO 94	HCM 95 ATC, 1995	MENDOZA y MAYORAL 96
Velocidades de camiones		<40 km/h ² <20 km/h ³							
Reducción de velocidad del camión tipo	15 km/h ¹		15 km/h ⁴		15 km/h ⁶	Aún >36 km/h ⁷	15 km/h ¹ 10 mph	16 km/h ¹	
Relación peso/potencia del camión tipo.					200 kg/kW 147 kg/cv		180 kg/kW 135 kg/cv	180 kg/kW 135 kg/cv	210 kg/HP 207 kg/cv
Tasa de flujo ascendente		Si		Figura ⁵			>200 veh/h	>200 veh/h	
Tasa de flujo de camiones ascendente							>20 cam/h	>20 cam/h	
Reducción del Nivel de Servicio (Del acceso al de la pendiente)					Uno		Dos o más	Uno o dos	Implícito
Nivel de Servicio en la pendiente				Implícito			"E" o "F"	"E" o "F"	Implícito
Accidentalidad en pendientes						En 4%, después de los primeros 760m. En 6%, 550m.			
Demora				Figura ⁵					Implícito
Velocidad ganada									Procedimiento
Efectividad respecto al costo					Considerar	Altos ⁸			Procedimiento
% de camiones		Considerar							
Disponibilidad de oportunidades de adelantamiento		Considerar							

¹ Respecto a la velocidad de toda la corriente del tránsito.

² En caso de carril de ascenso parcial en la pendiente y no se justifica completo por los volúmenes bajos y costos altos.

³ Para apartaderos, si la pendiente tiene más del 8%, porcentaje alto de vehículos pesados, volúmenes bajos y costos altos.

⁴ Respecto al percentil 85 de la distribución de velocidades.

⁵ Ver figura correspondiente que relaciona volumen, pendiente y demora en el artículo original.

⁶ Respecto a la velocidad de entrada o prevaleciente en la carretera.

⁷ Ver detalles en la referencia.

⁸ Con rendimiento bajo.

MTO = Ministerio de Transporte de Ontario; RTAC = Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de la Asociación de Transporte y Carreteras de Canadá; TTEH = Transportation and Traffic Engineering Handbook; AASHTO = American Association of State Highway and Transportation Officials; HCM = Highway Capacity Manual; NAASRA = National Association of Australian State Road Authorities; ATC = Asociación Técnica de Carreteras. Comité Español de la AIPCR.