

El volumen de tránsito atraído y desarrollado en carreteras de Colombia. Un caso real

The volume of attracted traffic and developed in highways of Colombia. A real case

James Cárdenas Grisales*

Ingeniero civil. M. Sc. en Ingeniería de Tránsito
Docente titular, Universidad del Valle.

RESUMEN

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, por ejemplo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del año de proyecto, en la construcción de una nueva carretera o en el mejoramiento de una carretera existente, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en el Tránsito Atraído y en los Incrementos del Tránsito que se espera utilicen la nueva carretera.

Se presenta en esta investigación el análisis de las variaciones de los volúmenes de tránsito, con base en las series históricas del Instituto Nacional de Vías, en la malla vial del Valle del Cauca, de los tramos Cali-Palmira-Buga, Cali-Yumbo-Mediacaño y Cali-Dagua-Loboguerrero, que permiten estimar el Tránsito Atraído a la carretera mejorada Cali-Yumbo-Mediacaño, y el Tránsito Desarrollado en ella.

Se demuestra que los volúmenes de Tránsito Desviados de una vía y Atraídos por una vía alterna, de excelentes especificaciones, crecen con el tiempo, hasta llegar al punto de equilibrio donde los volúmenes se igualan. También se concluye que el Tránsito Atraído a una nueva vía alterna no es inmediato (en el año de apertura o al año siguiente). Por el contrario, la atracción es gradual en el tiempo, una vez que los usuarios de las otras vías se van enterando de las mejores condiciones que ofrece la vía alterna, en términos de menores tiempos de viaje y mejores condiciones de seguridad, llegando hasta valores de atracción del 35%. A la vez, se encontró que el Tránsito Desarrollado, también se incrementa con el tiempo, en la medida que aparecen a lado y lado de la vía nuevos servicios (sitios de recreación, restaurantes, estaciones de gasolina, etc.) y cambios en uso del suelo, producto de su mejoramiento radical, con valores hasta del 9%.

PALABRAS CLAVE: tránsito atraído, tránsito desarrollado, pronóstico.

ABSTRACT

The forecast of the volume of traffic future, for example the Traffic Annual Daily Average TPDA of the year of project, in the construction of a new highway or in the improvement of an existing highway, it will have to be based not only on the current normal volumes, but also on the Attracted Traffic and on the Increases of the Traffic that is waited use the new highway.

It is presented in this investigation the analysis of the variations of the traffic volumes, based on the historical series of the National Process Institute, in the mesh road of the Valley of the Cauca, of the sections Cali - Palmira-Buga, Cali - Yumbo - Mediacaño and Cali - Dagua - Loboguerrero, that permits to estimate the Traffic Attracted to the improved highway Cali - Yumbo - Mediacaño, and the Traffic Developed in her.

It is demonstrated that the Diverted Traffic volumes from a route and Attracted by a route alternates, of excellent specifications, grow with the time, until arriving to the break-even point where the volumes are evened. Equally it is concluded that the Traffic Attracted to a new route alternates is not immediate (in the year of opening or per year following). on the contrary, the attraction is gradual in the time, once the users of the others process are gone depositing of the better conditions that offers the route alternates, in smaller time terms of trip and better safety conditions, being at the point attraction values of the 35%. A its time, was found that the Developed Traffic, also is increased with the time, in the measure that appear to side and side of the route, new services (recreation sites, restaurants, gasoline stations, etc.) and changes in use of the soil, product of its radical improvement, with values until of the 9%.

KEY WORDS: attracted traffic, developed traffic, forecast.

* Enviar correspondencia a James Cárdenas Grisales, Avenida Circunvalar Venado de Oro, tel. 0571-3376981, jamescg@andinet.com

1. GENERALIDADES

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, por ejemplo el *tránsito promedio diario anual (TPDA)* del año de proyecto, en la construcción de una nueva carretera o en el mejoramiento de una carretera existente, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera. Por lo tanto, es necesario definir los dos tipos de proyectos en los cuales se aplica este concepto [1]:

Proyectos de construcción

Conjunto de todas las obras de infraestructura a ejecutar en una nueva vía proyectada o en un tramo faltante mayor del 30% de una vía existente.

Comprenden, entre otras, las siguientes actividades: desmonte y limpieza, explanación, obras de drenaje (alcantarillas, pontones, etc.), afirmado, subbase, base y carpeta de rodadura, tratamientos superficiales o riegos, señalización vertical, demarcación lineal, puentes, túneles, etc.

Proyectos de mejoramiento

Consisten básicamente en el cambio de especificaciones y dimensiones de una vía existente, para lo cual se hace necesaria la construcción de obras en infraestructura ya existente, que permitan una adecuación de la vía a los niveles de servicio requeridos por el tránsito actual y proyectado. También puede considerarse la construcción de tramos faltantes de una vía ya existente, cuando estos no representan más del 30% del total de la vía.

Comprenden, entre otras, las siguientes actividades: ampliación de la calzada, construcción de nuevos carriles, rectificación de alineamientos horizontal y vertical, construcción de obras de drenaje y subdrenaje, construcción de afirmado, construcción de estructura del pavimento, estabilización de afirmados,

tratamientos superficiales o riegos, señalización vertical, demarcación lineal, etc.

2. COMPONENTES DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO FUTURO [2]

Los volúmenes de tránsito futuro (TF) para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual (TA) y del incremento del tránsito (IT) esperado al final del período o año meta seleccionado. De acuerdo con esto, se puede plantear la siguiente expresión:

$$TF = TA + IT$$

El *tránsito actual (TA)* es el volumen de tránsito que usará la carretera mejorada o la nueva carretera en el momento de darse completamente al servicio. En el caso de la apertura de una nueva carretera, el tránsito actual se compone completamente de tránsito atraído (TA_a). En el mejoramiento de una carretera existente, el tránsito actual se compone del *tránsito existente (TE)* antes de la mejora, más el *tránsito atraído (TA_t)* de otras carreteras una vez finalizada su reconstrucción total.

El *tránsito actual (TA)* se puede establecer a partir de aforos vehiculares sobre las vialidades de la región que influyan en la nueva carretera, estudios de origen y destino, o utilizando parámetros socioeconómicos que se identifiquen plenamente con la economía de la zona. En áreas rurales, cuando no se dispone de estudios de origen y destino ni de datos de tipo económico, para estudios preliminares es suficiente la utilización de las series históricas de los aforos vehiculares en términos de los volúmenes de tránsito promedio diario anual (*PDA*) representativos de cada año.

De esta manera, en general, el *TA* se expresa como:

$$TA = TE + TA_t$$

Para la estimación del *tránsito atraído* (TA_t) se debe tener un conocimiento completo de las condiciones locales, de los orígenes y destinos vehiculares y del grado de atracción de todas las vías involucradas. A su vez, la cantidad de tránsito atraído depende de la capacidad y de los volúmenes de las carreteras existentes; por ejemplo, si están saturadas o congestionadas, la atracción será mucho más grande. Los usuarios, componentes del tránsito atraído a una nueva carretera, no cambian su origen, ni su destino, ni su modo de viaje, pero la eligen motivados por una mejora en los tiempos de recorrido, en la distancia, en las características geométricas, en la comodidad y en la seguridad. Como no se cambia su modo de viaje, este volumen de tránsito también se denomina *tránsito desviado*.

El *incremento del tránsito* (IT) es el volumen de tránsito que se espera use la nueva carretera en el año futuro seleccionado como de proyecto. Este incremento se compone del *crecimiento normal del tránsito* (CNT), del *tránsito generado* (TG) y del *tránsito desarrollado* (TD).

El *crecimiento normal del tránsito* es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de muchos más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando. Sin embargo, deberá tenerse gran cuidado en la utilización de los indicadores del crecimiento del parque vehicular nacional para propósitos de proyecto, ya que ellos no necesariamente reflejan las tasas de crecimiento en el área local bajo estudio, aunque se ha comprobado que existe cierta correlación entre el crecimiento del parque vehicular y el crecimiento del $TPDA$.

El *tránsito generado* consiste en aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construyera la nueva carretera. El tránsito generado se compone de tres categorías: el *tránsito inducido*, o nuevos viajes no realizados pre-

viamente por ningún modo de transporte; el *tránsito convertido*, o nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi, autobús, tren, avión o barco, y que por razón de la nueva carretera se harían en vehículos particulares; y el *tránsito trasladado*, consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso del suelo. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un período de generación de uno o dos años después de que la carretera se abre al servicio.

El *tránsito desarrollado* es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo tanto no se considera como una parte del tránsito desarrollado. Pero la experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando un tránsito adicional el cual se considera como tránsito desarrollado, con valores del orden del 5% del tránsito actual.

Por lo tanto, el (IT) se expresa así:

$$IT = CNT + TG + TD$$

De esta manera, se tiene:

$$TF = TA + IT = (TE + TA_t) + (CNT + TG + TD)$$

En la figura 1 se ilustran estos cinco componentes del tránsito futuro.

También se define el *factor de proyección* (FP) del tránsito como la relación del TF al TA :

$$FP = \frac{TF}{TA}$$

$$FP = \frac{TA + IT}{TA} = \frac{TA + CNT + TG + TD}{TA}$$

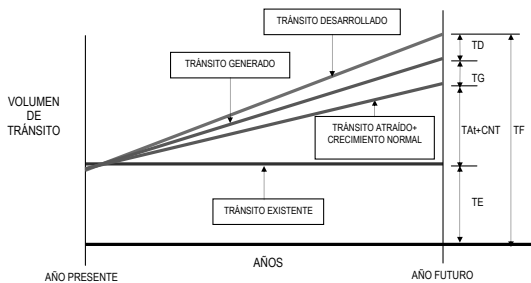
$$FP = 1 + \frac{CNT}{TA} + \frac{TG}{TA} + \frac{TD}{TA}$$

El *FP* deberá especificarse para cada año futuro. El valor utilizado en el pronóstico del tránsito futuro para nuevas vías, sobre la base de un período de proyecto de 20 años, está en el rango de 1,5 a 2,5. Conocido el factor de proyección, el *TF* se calcula mediante la siguiente expresión:

$$TF = FP(TA)$$

Para obtener estimativos confiables de los volúmenes vehiculares que circularán en el futuro por variantes o vías alternas se utilizan *modelos de asignación de tránsito*, los cuales se alimentan por las demandas pronosticadas, las que a su vez se estiman con *modelos de demanda*. Estos se calibran utilizando parámetros socioeconómicos (como la población total, la población económicamente activa, la población ocupada y los vehículos registrados) y las demandas actuales obtenidas a través de encuestas de origen y destino. Por lo general, la asignación es de tipo probabilístico con base en una función de utilidad que toma en cuenta el tiempo de recorrido, las tarifas, los costos de operación, las características geométricas, y los volúmenes actuales y su composición.

Figura 1. Componentes del volumen de tránsito futuro.



El pronóstico de los volúmenes de tránsito futuro en *áreas urbanas* es aún mucho más complejo. Según G. F. Newell [3], en el análisis de flujos vehiculares en redes de transporte, la *primera fase* del proceso consiste en un *inventario*, en el año base, de las facilidades de transporte existentes y sus características, de los patrones de viaje determinados a través de encuestas de origen y destino y aforos vehiculares, y de los factores de planeación como usos del suelo, distribución de los ingresos, estructura urbana y tipos de empleo. Igualmente, es necesario obtener información relacionada con el crecimiento de la población, el tamaño de la ciudad y los vehículos registrados.

La *segunda fase* tiene como propósito llevar los datos, recolectados en la primera fase, a *relaciones* o *fórmulas* mediante el desarrollo de *modelos*. El modelo de *generación* de viajes, que relaciona los viajes producidos (orígenes) y atraídos (destinos) con los usos del suelo, la densidad de la población, la distribución del ingreso y el tipo de empleo. El modelo de *distribución* de viajes, que, apoyado en fórmulas, describe cómo se distribuyen los viajes entre un origen y varios destinos de acuerdo con el grado de atracción de las diferentes zonas. Y el modelo de *asignación* de tránsito, que determina cómo se asignan los viajes entre sí sobre las diversas rutas entre cada origen y destino, incluyendo elección de modos.

La *tercera fase*, de *pronósticos* o *extrapolaciones*, realiza predicciones sobre el uso futuro del suelo, la población, etc., con base en los desarrollos históricos, estimando la generación y distribución de viajes en el futuro.

La *cuarta fase*, o final, *asigna* los *viajes pronosticados* o *futuros* a las rutas de la red de transporte que incluye nuevas vías. Se efectúan *estudios económicos* de costo-beneficio para evaluar las diferentes alternativas orientadas hacia la expansión del sistema vial y de transporte.

3. CASO REAL DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO ATRAÍDO Y DESARROLLADO [4]

En la figura 2 se ilustra el área de estudio de la región central-occidental del departamento del Valle del Cauca [5], Colombia.

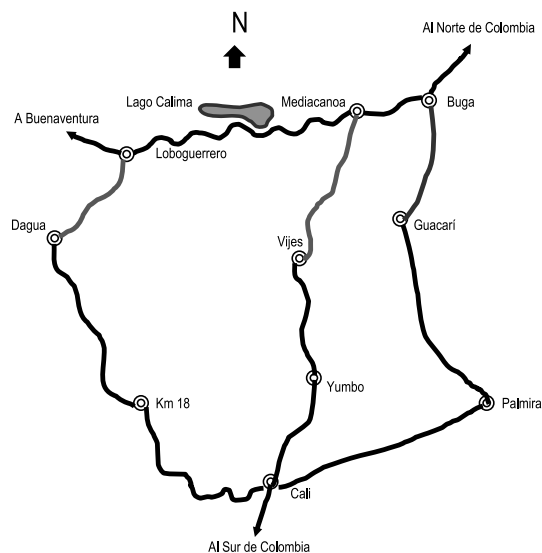
Figura 2. Área de estudio en el Valle del Cauca.



En este caso, dentro del área de estudio, se trata de analizar las variaciones de los volúmenes de tránsito, con base en las series históricas del Instituto Nacional de Vías, según el croquis mostrado en la figura 3, de tres tramos viales así:

- ❑ **Cali-Palmira-Guacarí-Buga**
Caracterizado por el sector Guacarí-Buga
- ❑ **Cali-Yumbo-Vijos-Mediacanoa**
Caracterizado por el sector Vijos-Mediacanoa
- ❑ **Cali-km18-Dagua-Loboguerrero**
Caracterizado por el sector Dagua-Loboguerrero

Figura 3. Red vial central-occidental del Valle del Cauca.



En la tabla 1 se muestran los volúmenes de tránsito promedio diario semanal (*TPDS*), reportados por Invías [6], para los tres sectores característicos.

La carretera Yumbo-Vijos-Mediacanoa antes del año 1984 era una vía secundaria en afirmado que prestaba servicio a un tránsito local regional relativamente bajo. En ese mismo año la carretera Cali-Yumbo-Vijos-Mediacanoa, que desde entonces se denominó "La Panorama", hoy "Troncal del Pacífico", después de ser sometida a un mejoramiento completo, se abrió al servicio con unas características geométricas y de rodadura excelentes como una carretera de primer orden. Obsérvese que ya en el año 1985 el volumen se había incrementado prácticamente en el 100% (pasó de 785 a 1.597 vehículos/día/ambos sentidos). Igualmente las otras dos carreteras para estos mismos años sufren cambios (quiebres) importantes.

Definitivamente, la carretera Yumbo-Vijos-Mediacanoa, con este mejoramiento, se convierte en una vía alterna a la carretera Cali-Palmira-Guacarí-Buga, de usuarios que van y vienen del lago Calima o del centro y norte de Colombia. De igual manera, aunque

en un menor grado, también se convierte en una vía alterna a la carretera Cali-km 18-Dagua-Loboguerrero, de usuarios que van y vienen de Buenaventura.

En estas condiciones, debió de existir un alto volumen de *TAt* de estas dos vías, y a su vez un importante volumen de *TD* producto del desarrollo de las tierras adyacentes, donde fueron apareciendo lugares de recreación, nuevos cultivos y otros servicios.

Al realizar un corte transversal, se observa claramente que los tres sectores a comparar son: Guacarí-Buga, Dagua-Loboguerrero y Vijes-Mediacanoa, por su posición geográfica y porque cualquier cambio de volúmenes en cada una de las carreteras se reflejará en ellos.

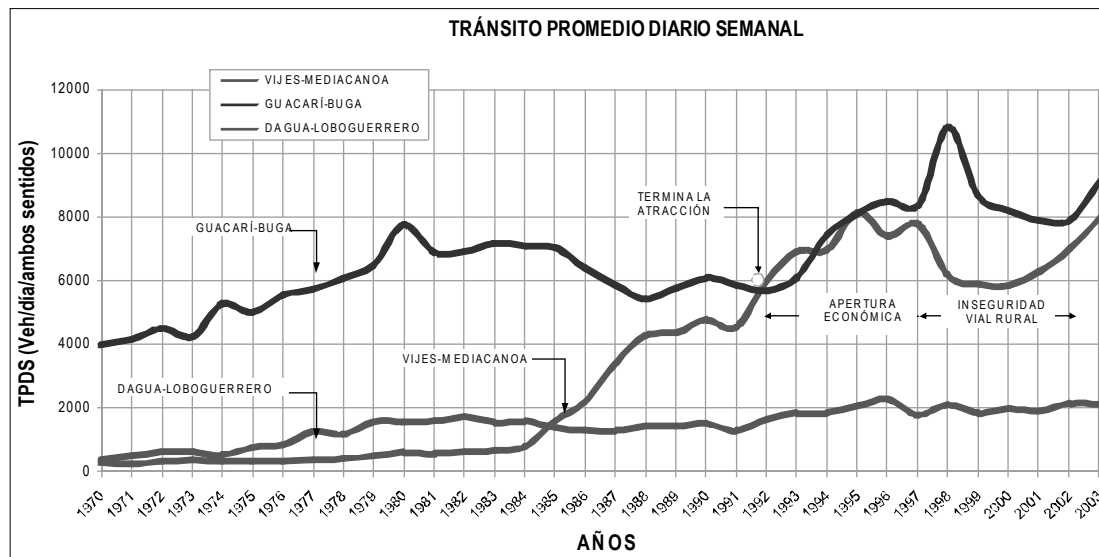
En la figura 4 aparecen las tendencias de las series históricas de los volúmenes de tránsito.

Tabla 1. Volúmenes de tránsito promedio diario semanal.

Años	TPDS (VEHÍCULOS MIXTOS/DÍA/AMBOS SENTIDOS)		
	VIJES-MEDIACANOA	GUACARÍ-BUGA	DAGUA-LOBOGUERRERO
1970	297	3971	363
1971	238	4168	496
1972	317	4515	616
1973	380	4255	644
1974	347	5290	531
1975	312	5007	776
1976	351	5564	840
1977	392	5742	1266
1978	415	6068	1177
1979	506	6518	1580
1980	622	7757	1561
1981	568	6890	1591
1982	647	6910	1742
1983	675	7196	1565
1984	785	7098	1596
1985	1597	7041	1411
1986	2194	6400	1323
1987	3430	5873	1293
1988	4273	5443	1457
1989	4392	5789	1451
1990	4782	6089	1526
1991	4551	5868	1296
1992	6031	5679	1659
1993	6943	6102	1845
1994	6969	7419	1863
1995	8164	8137	2092
1996	7412	8507	2299
1997	7787	8386	1793
1998	6146	10854	2119
1999	5896	8661	1859
2000	5858	8183	1975
2001	6309	7908	1918
2002	7003	7908	2157
2003	8003	9128	2137

Fuente: Instituto Nacional de Vías, Subdirección de Apoyo Técnico. Volúmenes de tránsito.

Figura 4. Series históricas de los volúmenes de tránsito.



Como puede observarse, se presentan cuatro períodos de variaciones muy bien marcados:

❑ **Período 1970-1984**

La variación de los volúmenes obedecía al crecimiento normal del tránsito.

❑ **Período 1984-1992**

Con la inauguración de la carretera Vijaes-Mediacanoa, esta comienza a atraer tránsito (obsérvese que la curva asciende) de las carreteras Guacarí-Buga y Dagua-Loboguerrero (obsérvese que las curvas descienden). Esta atracción termina justamente en el año 1992, donde las curvas de las carreteras Vijaes-Mediacanoa y Guacarí-Buga se juntan.

❑ **Período 1992-1997**

Es el período de la apertura económica en Colombia, se reactiva el tránsito en la carretera Guacarí-Buga, y el tránsito en la carretera Vijaes-Mediacanoa sigue su crecimiento normal. Estas dos vías prácticamente tienen un crecimiento igual de volúmenes. De la misma manera, aunque con una intensidad menor, la carretera Dagua-Loboguerrero reactiva su crecimiento normal como lo venía haciendo en el primer período.

❑ **Período 1997-2002**

Se presentan los problemas de seguridad en las regiones rurales del país, lo cual obliga a que el usuario no viaje al campo. Obsérvese la fuerte caída de volúmenes de la vía Vijaes-Mediacanoa, que es de terreno montañoso (por ejemplo, destino el lago Calima, sitio que se vuelve inseguro). También se aprecia para el año 1998 un alto volumen en la vía Guacarí-Buga, que es de terreno plano (los usuarios salen al campo, solamente en la parte plana del Valle del Cauca); esta situación comienza a empeorar desde 1999 a 2002. A partir de este último año, las condiciones de seguridad se incrementan y se reflejan de nuevo en aumentos de volúmenes en las tres carreteras.

Con base en el anterior análisis, se decide realizar los ajustes a rectas de regresión para cada uno de los dos primeros períodos, lo que arroja las ecuaciones de correlación (y en función de x) y los coeficientes de determinación R^2 , tal como se aprecia en la figura 5.

Las ecuaciones de correlación, para cada uno de los períodos, son:

❑ **Guacarí-Buga**

Primer período (1970-1984):

$$y = 262.5x - 513159$$

Segundo período (1984-1992):

$$y = -165.02x + 334195$$

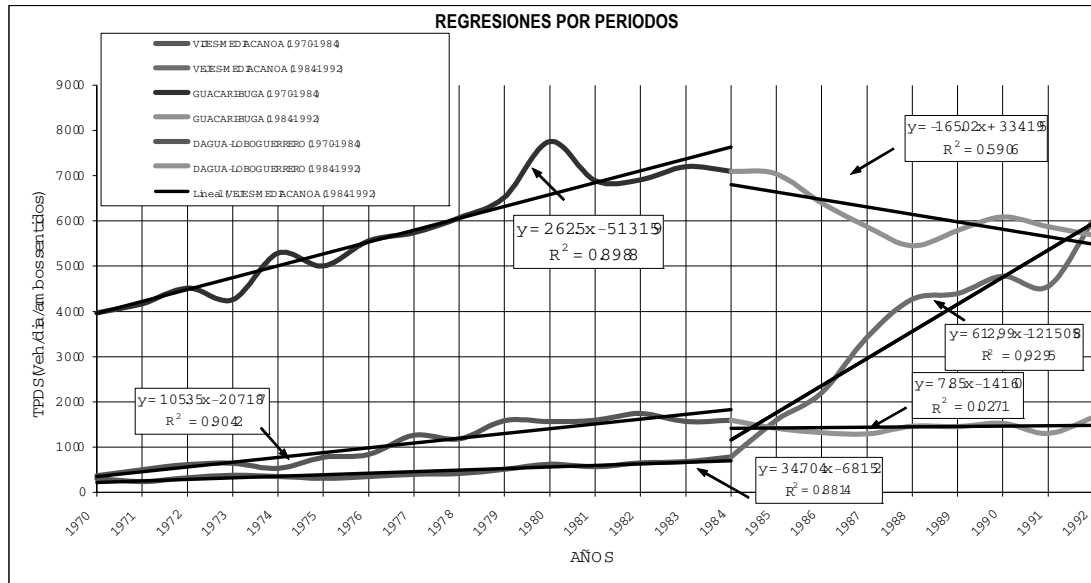
□ Dagua-Loboguerrero

Primer período (1970-1984):

Segundo período (1984-1992):

$$y = 7.85x - 14160$$

Figura 5. Ajuste rectilíneo de las series históricas de los volúmenes de tránsito.



Vijes-Mediacanoa

Primer período (1970-1984):

$$y = 34.704x - 68152$$

Segundo período (1984-1992):

$$y = 612.99x - 1215058$$

Para deducir la cantidad de tránsito desviado de las vías Guacarí-Buga y Dagua-Loboguerrero, y atraído por la vía Vijes-Mediacanoa, es necesario definir para el período 1984-1992 las ecuaciones bajo el supuesto de que no se hubiera realizado el mejoramiento de "La Panorama", situación que se denomina "sin proyecto". Estas ecuaciones son:

□ Guacarí-Buga

$$y = 262.5x - 513159 - \Delta b$$

$$\Delta b = y_{1984} (\text{Guacarí - Buga, 1}^{\text{er}} \text{ período}) - y_{1984} (\text{Guacarí - Buga, 2}^{\text{do}} \text{ período})$$

$$\Delta b = [262.5(1984) - 513159] - [-165.02(1984) + 334195] - |$$

$$\Delta b = 846$$

$$y = 262.5x - 513159 - 846$$

$$y = 262.5x - 514005$$

□ Dagua-Loboguerrero

$$y = 105.35x - 207187 - \Delta b$$

$$\Delta b = y_{1984} (\text{Dagua - Loboguerrero, 1}^{\text{er}} \text{ período}) - y_{1984} (\text{Dagua - Loboguerrero, 2}^{\text{do}} \text{ período})$$

$$\Delta b = [105.35(1984) - 207187] - |$$

$$[7.85(1984) - 14160]$$

$$\Delta b = 413$$

$$y = 105.35x - 207187 - 413$$

$$y = 105.35x - 207600$$

□ Vijes-Mediacanoa

$$y = 34.704x - 68152 + \Delta b$$

$$\Delta b = y_{1984} (\text{Vijes - Mediacanoa, 2}^{\text{do}} \text{ período})$$

$$- y_{1984} (\text{Vijes - Mediacanoa, 1}^{\text{er}} \text{ período})$$

$$\Delta b = [612.99(1984) - 1215058] - [34.704(1984)$$

$$- 68152] - |$$

$$\Delta b = 413$$

$$y = 34.704x - 68152 - 413$$

$$y = 34.704x - 67739$$

De esta manera, se grafican las ecuaciones obtenidas, para cada uno de los sectores, bajo los escenarios "con" y "sin" proyecto, tal como se ilustra en la figura 6.

De la figura se observa que los desvíos de tránsito de las vías Guacarí-Buga (flecha hacia abajo) y Dagua-Loboguerrero (flecha hacia abajo) son atraídos por la vía Vijes-Mediacanoa (flecha hacia arriba). Así que la resta de la ecuación "con" proyecto menos la ecuación "sin" proyecto arroja estos desvíos y atracciones de tránsito:

□ Guacarí-Buga

$$\Delta y_{G-B} = (-165.02x + 334195) - (262.5x - 514005)$$

$$\Delta y_{G-B} = -427.52x + 848200$$

□ Dagua-Loboguerrero

$$\Delta y_{D-L} = (7.85x - 14160) - (105.35x - 207600)$$

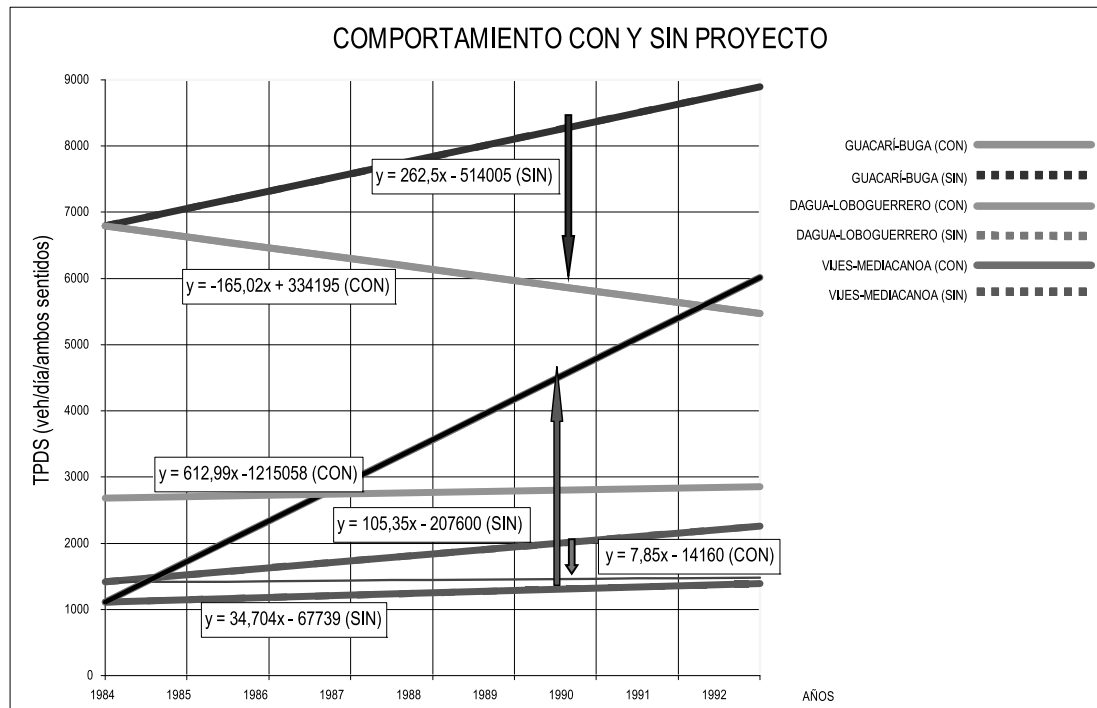
$$\Delta y_{D-L} = -97.5x + 193440$$

□ Vijes-Mediacanoa

$$\Delta y_{V-M} = (612.99x - 1215058) - (34.704x - 67739)$$

$$\Delta y_{V-M} = 578.286x - 1147319$$

Figura 6. Comportamiento "con" y "sin" proyecto.



La tabla 2 muestra los volúmenes de tránsito, con base en estas ecuaciones de desvíos y atracciones, lo que permite deter-

minar, para la vía Vijes-Mediacanoa, los volúmenes de *TA*, *CNT* y *TD*.

Tabla 2. Volúmenes de tránsito desviados, atraídos, crecimiento normal y desarrollado.

AÑO	TRÁNSITO DESVIADO GUACARÍ-BUGA Δy_{G-B}	TRÁNSITO DESVIADO DAGUA-LOBOGUERRERO Δy_{D-L}	SUMA DE TRÁNSITOS DESVIADOS $\Sigma(\Delta y_{G-B} + \Delta y_{D-L})$	TRÁNSITO TOTAL VIJES-MEDIACANOA Δy_{V-M}	CARRETERA VIJES-MEDIACANOA VOLÚMENES DE TRÁNSITO (VEHÍCULOS MIXTOS/DÍA/AMBOS SENTIDOS)		
					ATRAÍDO T_{At}	NORMAL CNT	DESARROLLADO TD
1984	0	0	0	0	0	0	0
1985	-427	-98	-525	579	525	35	19
1986	-855	-195	-1050	1157	1050	35	72
1987	-1282	-292	-1575	1735	1575	35	126
1988	-1710	-390	-2100	2314	2100	35	179
1989	-2137	-487	-2625	2892	2625	35	232
1990	-2565	-585	-3150	3470	3150	35	285
1991	-2992	-682	-3675	4048	3675	35	339
1992	-3420	-780	-4200	4627	4200	35	392

Con el propósito de conocer el porcentaje de T_{At} de cada una de estas dos vías, es necesario plantear la siguiente relación:

$$\% \text{ de Tránsito Atraído} = \left(\frac{\Delta y}{y_{\text{SIN Proyecto}}} \right) 100$$

□ Guacarí-Buga

$$\% \text{ de Tránsito Atraído de Guacarí - Buga} = \left(\frac{\Delta y_{G-B}}{y_{\text{SIN Proyecto}}} \right) 100 = \left(\frac{-427.52x + 848200}{262.5x - 514005} \right) 100$$

□ Dagua-Loboguerrero

$$\% \text{ de Tránsito Atraído de Dagua - Loboguerrero} = \left(\frac{\Delta y_{D-L}}{y_{\text{SIN Proyecto}}} \right) 100 = \left(\frac{-97.5x + 193440}{105.35x - 207600} \right) 100$$

De igual manera, para conocer el porcentaje correspondiente al TD , en la vía Vijes-Mediacanoa, se utiliza la siguiente expresión:

$$\% \text{ de Tránsito Desarrollado} = \left(\frac{TD}{\Delta y_{V-M}} \right) 100$$

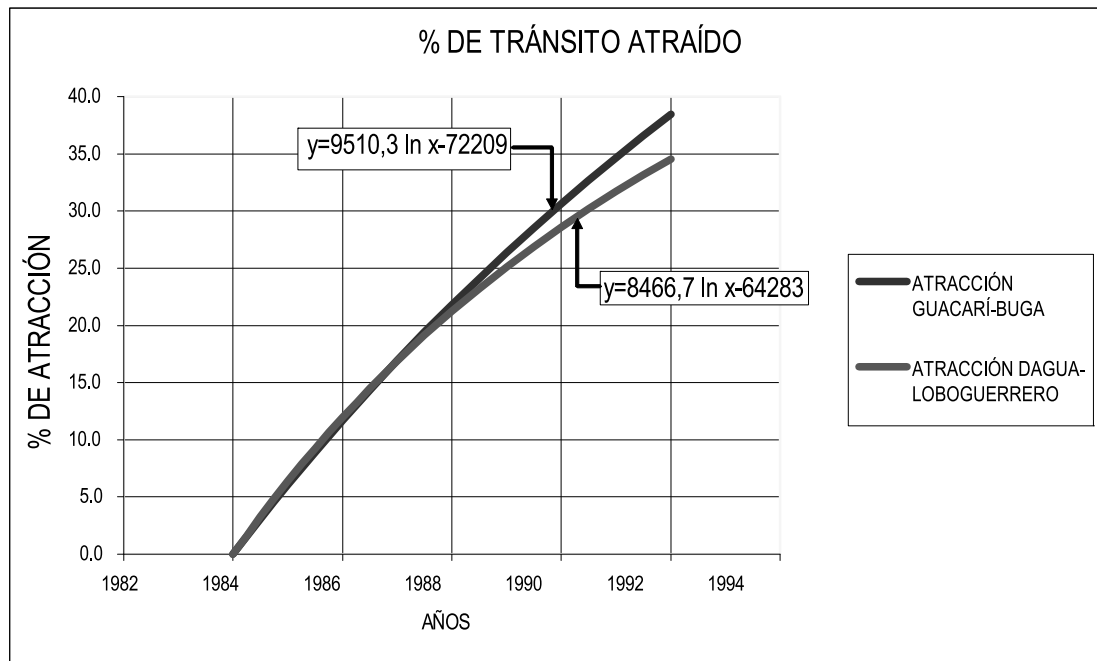
La tabla 3 muestra estos porcentajes, aplicando las ecuaciones anteriores.

Para tener una idea de las curvas de variación del T_{At} en cada una de las dos vías, se llevaron a la figura 7 los valores de la tabla anterior.

Tabla 3. Porcentajes de tránsito atraído y tránsito desarrollado.

AÑO	TRÁNSITO ATRAÍDO DE GUACARÍ-BUGA T_{AtG-B} (%)	TRÁNSITO ATRAÍDO DE DAGUA-LOBOGUERRERO T_{AtD-L} (%)	TRÁNSITO DESARROLLADO $TDV-M$ (%)
1984	0,0	0,0	0,0
1985	6,1	6,4	3,3
1986	11,7	12,0	6,2
1987	16,9	16,9	7,2
1988	21,8	21,2	7,7
1989	26,4	25,1	8,0
1990	30,6	28,6	8,2
1991	34,7	31,7	8,4
1992	38,4	34,6	8,5

Figura 7. Tendencia de la variación del tránsito atraído en función del tiempo.



4. CONCLUSIONES

- Los volúmenes de tránsito desviados de una vía y atraídos por una vía alterna, de excelentes especificaciones, crecen con el tiempo, hasta llegar al punto de equilibrio donde los volúmenes se igualan. Esta igualdad de volúmenes, para el caso en particular de las vías Vijes-Mediacaño y Guacarí-Buga, y debido al crecimiento idéntico del tránsito futuro a partir del año 1992 en ambas, marca el límite del tránsito desviado de la una (la existente, Guacarí-Buga) y atraído por la otra (la alterna, Vijes-Mediacaño). En otras palabras, el año 1992 se volvió el fin de la atracción, lo que quiere decir que es lo mismo transitar por la una o la otra.
- El tránsito atraído a una nueva vía alterna no es inmediato (en el año de apertura o al año siguiente). Por el contrario, la atracción es gradual en el tiempo, una vez que los usuarios de las otras vías se van enterando de las mejores condiciones que ofrece la vía alterna, en términos de menores tiempos de viaje y mejores condiciones de seguridad.
- Los porcentajes de atracción de las dos vías son iguales durante los primeros cuatro años; después de los cuales es menor el de la vía Dagua-Loboguerrero, quizás porque muchos usuarios consideran que no es necesario el desvío, por mayores tiempos de viaje.
- También el tránsito desarrollado se incrementa con el tiempo, en la medida que aparecen a lado y lado de la vía nuevos servicios (sitios de recreación, restaurantes, estaciones de gasolina, etc.) y cambios en el uso del suelo, producto de su mejoramiento radical. Obsérvese su variación, desde el 3,3% hasta el 8,8%, valores usualmente recomendados en países donde se han realizado este tipo de estudios.
- Para efectos de análisis desarrollado, se ha supuesto que en la vía mejorada el crecimiento normal del tránsito se man-

- tenga con la misma tendencia lineal que traía antes de su mejoramiento.
- Para el análisis se utilizó regresión mediante líneas rectas, pues está demostrado que la variación de los volúmenes de tránsito sigue más esta tendencia que otras (como la exponencial, potencial o logarítmica). En este sentido, obsérvense los altos coeficientes de determinación obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Manual de diseño geométrico para carreteras*. Bogotá, Ministerio de Transporte, 1998.
- [2] CAL Y MAYOR, Rafael y CÁRDENAS, James. *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Séptima edición, segunda reimpresión. México, D.F., Alfaomega S.A., 2004.
- [3] NEWELL Gordon, F. *Traffic Flow on Transportation Networks*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA and London, England, 1980.
- [4] CÁRDENAS, James, INESCO Ltda. *Informe final de tránsito y transporte del nuevo corredor Buga-Buenaventura, estudio fase I*. Cali, Colombia, 1992.
- [5] MICROSOFT CORPORATION. *Enciclopedia Encarta 2005*.
- [6] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Volúmenes de tránsito*. Bogotá, Ministerio de Transporte, 2003.