

## Influencia de la carga vehicular de los buses alimentadores del Sistema de Transporte Público masivo Transmilenio sobre pavimentos flexibles de la ciudad de Bogotá D.C.

### Influence of Feeder Bus Loads on Secondary Roads Flexible Pavement used by BRT Transmilenio in Bogotá Colombia

Jesús Arcila Briñez<sup>1</sup>, Sebastián Ojeda Ramírez<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Arcila Briñez J. & Ojeda Ramírez S. Influencia de la carga vehicular de los buses alimentadores del sistema de transporte público masivo Transmilenio sobre pavimentos flexibles de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. Revista de Topografía Azimut, PP 51-58

Fecha de Recepción: 20 de febrero de 2014

Fecha de Aceptación: 31 de agosto de 2014

#### Resumen

La malla vial utilizada por los buses alimentadores del sistema Transmilenio presenta un deterioro acelerado en los últimos cinco años. Las causas del deterioro pueden ser atribuibles a una deficiencia en la estimación de la variable tránsito en esos corredores viales. El presente estudio investiga a la variable tránsito de algunos corredores sobre los que circulan los buses alimentadores a partir de conteos. Además, se indaga sobre el impacto que ha generado hasta el momento y las posibles afectaciones por las nuevas cargas vehiculares del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP). Se encontró que en algunos casos la estimación del tránsito es inferior a la medida en campo, esto implica que los pavimentos flexibles estudiados han cumplido su vida útil mucho antes que se cumpla el periodo de diseño propuesto y de ahí que exista un deterioro prematuro con respecto a lo esperado.

**Palabras clave:** sistema BRT, pavimentos flexibles, cargas de tránsito, transporte masivo.

#### Abstract

Secondary roads used by BRT system have been presented an accelerates damage during last five years. The causes can be attributed to a lack on estimation of transit variable in that roads. This project studies transit variable on secondary roads used by feeder buses based on daily counts. In addition, the present and future impacts due to loads of new public and integrate transportation system were studied. As a result, the estimation of transit loads used in the pavement design was significantly less than those found in the field. An implication is that flexible pavements under studies have accomplished its expected loads before design period and for that reason they achieve premature distresses.

**Keywords:** BRT system, flexible pavements, transit loads, mass transport.

<sup>1</sup>Ingeniero Topográfico, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, [jharcilab@gmail.com](mailto:jharcilab@gmail.com)

<sup>2</sup>Ingeniero Topográfico, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, [ojedaramirezs@gmail.com](mailto:ojedaramirezs@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

Según el estado de la malla vial, el 44% es malo y el 19% es regular (IDU, 2012) donde el 63% es un regular y mal estado los cuales suman 9,242.8 km/carril. Se realiza una investigación en la que, por medio de estudios de tránsito, cálculos de espesores de la capa del pavimento flexible, se comparan los diseños con los que se construyeron y se proyectaron las vías.

Es evidente y apenas obvio pensar que las estructuras viales construidas con anterioridad a la inclusión del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) fueron diseñadas para soportar cargas diferentes a las que se moverán cuando este sistema comience a operar. Adicionalmente, la inclusión de los buses alimentadores del sistema Transmilenio ha ayudado a deteriorar las estructuras viales por donde han sido puestos a transitar. Lo anterior debido principalmente a que este tipo de buses son más pesados que aquellos que por lo general circulan por las vías de la ciudad (Rondón y Reyes, 2012). En ese sentido, el objetivo de este estudio es analizar la influencia de las cargas de los buses alimentadores del sistema Transmilenio sobre la malla vial secundaria de tres zonas en Bogotá, generar el redimensionamiento como sugerencia para los pavimentos flexibles sobre los cuales transitan las rutas alimentadoras y así obtener un diferencia de volumen de material a utilizar en dichas vías y su respectivo costo.

## METODOLOGÍA

### Recopilación y selección de la información

Inicialmente se buscaron vías con las siguientes características y se escogieron según dichos parámetros:

1. Conocimiento la construcción física de

la estructura vial y la variable tránsito utilizada para diseñar el tramo.

2. Información disponible, como lo son los diseños de la estructura vial, parámetros de diseño y estudio de tránsito.
3. La demanda de tráfico que circula y tipo de vehículos medido por medio de un aforo.

Una vez identificadas las vías se buscaron los diseños de las estructuras de pavimentos de dichas vías, lo anterior con el fin de obtener la variable de tránsito con la que se dimensionó dicha estructura. Esta se toma como la variable de control con la que se establece en la vía de estudio por donde actualmente se movilizan los buses alimentadores. Después de haber obtenido los diseños, se procedió a hacer una relación entre lo que estaba plasmado en los informes con lo que estaba en campo. Para ello, se verificaron las direcciones, se realizó la visita de campo y se evaluó el estado actual de la estructura vial.

### Localización

El primer tramo se encuentra ubicado en el sector noroccidental de la ciudad de Bogotá D.C., en la localidad de Suba, Barrio Turingia en la Calle 154 entre carrera 103 y carrera 106, por donde circula la ruta del bus alimentador Pinar 11-7. El segundo tramo se encuentra ubicado en el sector sur de la ciudad de Bogotá D.C., en la localidad de Ciudad Bolívar, UPZ Lucero, en el barrio Paraíso, parada 17 de la ruta alimentadora Paraíso 6-4, donde se aprecia el recorrido del bus alimentador por el área de estudio. El tercer tramo también se encuentra en la Localidad de Ciudad Bolívar, UPZ Tesoro, en el barrio San Joaquín, en la parada 6 de la ruta del bus alimentador San Joaquín 6-7.

### Tratamiento de la información

Se verificaron los parámetros descritos para

la selección de la información en la elección de los tres tramos. Los informes nombrados a continuación fueron la base para trabajar en cada uno de los tramos.

En los tres tramos descritos anteriormente, en el año 2003, el Instituto de Desarrollo Urbano contrató los estudios y diseños de accesos a barrios y pavimentos locales, en la localidad de Suba y Ciudad Bolívar en Bogotá D.C; en los cuales dentro de sus alcances está el estudio de tránsito, capacidad y niveles de servicio para las vías objeto del estudio, para así determinar las condiciones de operación en la actualidad y, a partir de proyecciones de tránsito a 10 y 20 años, establecer la capacidad y nivel de servicio (Montejo, 2006).

### Uso de la información

Se realizó un aforo en cada zona afectada de estudio donde según la hora de inicio y finalización del servicio de los buses alimentadores de Transmilenio, se procedió con el conteo de la siguiente forma: desde las 04:30 a 22:00 horas del mismo día, durante los cinco (5) primeros días de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes); los sábados, de 05:00 a 22:00, y los domingos, de 6:00 a 21:00 horas, para los tramos 2 y 3; para el tramo 1, de lunes a sábados de 5:00 a 22:00 y domingos, de 6:00 a 21:00 horas. Este aforo fue realizado en el horario descrito debido a las condiciones de seguridad de las tres (3) zonas de estudio, el transporte para la movilización de los aforadores y porque se cubría un amplio periodo del día en el que se incluían las dos horas pico para los siete días de la semana.

Inicialmente, a partir del estudio de tránsito realizado en la zona, se determinó la variable *tránsito* vigente por medio de un aforo, donde se contabilizó en un intervalo de tiempo de 15 minutos, la cantidad y el tipo de vehículo que transita por dichos tramos, para ser comparada con la variable *tránsito* con la

cual se diseñaron las estructuras viales de las zonas de estudio (variable dada en los diseños obtenidos del centro de documentación del IDU).

La variable *transito* vigente es hallada con la misma tasa de crecimiento utilizada al momento en que se diseñaron las vías según los informes obtenidos de las áreas de estudio. El periodo de diseño utilizado fue de 10 y 20 años, y en el factor camión (FC) (variable utilizada en la fórmula de  $N$  correspondiente a la sumatoria del total de vehículos pesados multiplicado por su respectivo factor daño) se anexa el factor daño generado por el bus alimentador. El factor carril  $K_2$  en los tres tramos es igual a 50 %, ya que estos tramos o zonas de estudio son vías de una (1) calzada con dos (2) carriles y uno (1) en cada sentido o dirección.

Con la variable *tránsito* vigente hallada (según los datos en campo, de forma coherente y correcta) se realizó una comparación con la variable de diseño de los tres tramos de estudio, donde los tres resultados de dicha variable son mucho menores a la encontrada por medio del estudio de tránsito del presente estudio.

Por consiguiente, el siguiente paso fue realizar el diseño del pavimento flexible con los mismos métodos y parámetros utilizados en la fecha de diseño de los tramos de estudio, para así poder plantear las sugerencias finales que, en los tres casos, fueron diseñadas por el método AASHTO, donde también se encontraron diseños erróneos del pavimento. Para dar una idea del estado actual de la malla vial de las áreas de estudio se registraron unas fotografías como base del deterioro experimentado por los pavimentos tomadas en el transcurso de los aforos.

### RESULTADOS

Las variables señaladas en la tabla 1

corresponden a los diseños originales de los tres (3) tramos de vía construidas en junio del año 2003 y fueron obtenidas en el Instituto de Desarrollo Urbano, cuando contrató los estudios y diseños de accesos a barrios y pavimentos locales, en la localidad de Suba y Ciudad Bolívar en Bogotá D.C., donde se utilizaron los datos de la variable tránsito (W18), la desviación estándar a partir de un porcentaje de confiabilidad ( $Z_r$ ), un error estándar ( $S_o$ ) que siempre tiene el mismo valor de 0.45 para pavimentos flexibles, el índice de serviciabilidad (DPSI) y el módulo resiliente de cada capa, para el diseño del pavimento flexible, a través del método AASHTO 1993:

**Tabla 1:** Variables extraídas y utilizadas para hallar los números estructurales (SN) Originales.

Variable	Tramo		
	1	2	3
W18	6400000	500000	4300000
Zr	-1.282	-1	-1
So	0.45	0.45	0.45
DPSI	1.8	2	2
Mr base [psi]	570000	30500	30500
SN1	0.76	1.70	2.43
Mr subbase [psi]	13000.00	13800.00	13800.00
SN2	3.77	2.31	3.25
Mr subrasante [psi]	4500.00	7500.00	7500.00
SN3	5.41	2.89	4.03

**Fuente:** (Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), Centro de documentación, 2003)

Se aplicaron los mismos procedimientos, con las mismas constantes, cambiando las variables únicas para hacer el desarrollo del proyecto y llegar a un resultado incidente:

**Tabla 2:** Resultados de los coeficientes estructurales de capa correspondientes al diseño original con el que se construyeron las vías

Coeficiente	Tramo		
	1	2	3
a1	0.410	0.410	0.410
a2	0.190	0.140	0.140
a3	0.095	0.101	0.101
m2	1.000	1.000	1.000
m3	0.800	0.900	0.900

**Fuente:** (Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), Centro de documentación, 2003).

Con los coeficientes de la tabla 2, se determinaron los espesores de cada capa según la recomendación del método AASTHO 93, consignados en la tabla 3.

**Tabla 3:** Espesores de las capas originales del pavimento flexible, Originales

Capa	Identificador	Espesor (cm)		
		Tramo		
		1	2	3
CAPA ASFÁLTICA	h1	12	8	12
BASE	h2	30	15	20
SUBBASE	h3	41	21	27.7

**Fuente:** (Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), Centro de documentación, 2003)

Con el fin de realizar la comparación entre lo diseñado por el IDU (información nombrada como datos originales) y la situación actual en el terreno se estimó el volumen de tránsito actual y se recalcularon los espesores de capas en cada tramo.

En primer lugar se realizó un conteo de tránsito en las zonas de estudio, en donde se obtuvo la información que se detalla en la tabla 4. Los conteos de los vehículos se realizaron en semanas corrientes y su horario dependiendo del tramo, se detalla en Uso de la Información. Es de aclarar que no se realizaron pesajes sino que se estimaron los

valores de la misma manera que lo hiciera el IDU, adoptando valores para el factor camión.

**Tabla 4:** Estudio de tránsito en los tres (3) tramos seleccionados (realizado en el año 2013)

Tipo de Veh	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total Veh
Tramo 1								
Taxis	5213	4907	5022	4974	5361	5612	3212	34301
Automóviles	5730	5847	5869	5758	6021	6062	4950	40237
Bus	310	298	301	310	329	338	261	2147
Buseta	624	607	636	658	684	692	420	4321
Alimentador	503	491	482	499	501	513	366	3355
C2P	607	591	597	607	618	642	513	4175
C2G	492	507	482	503	501	516	412	3413
C3-4	51	57	43	51	60	57	26	345
C5	17	19	13	15	14	21	7	106
Total día	13547	13324	13445	13375	14089	14453	10167	92400
Tramo 2								
Taxis	431	408	437	401	387	358	265	2687
Automóviles	1008	1021	995	1032	1026	987	683	6752
Bus	5	4	7	4	6	6	2	34
Buseta	449	444	438	441	448	434	375	3029
Alimentador	340	345	347	339	340	348	292	2351
C2P	10	14	11	11	13	15	9	83
C2G	8	9	11	7	8	10	5	58
C3-4	5	2	4	1	6	2	2	22
C5	2	2	1	2	3	3	0	13
Total día	2258	2249	2251	2238	223	2163	1633	15029
Tramo 3								
Taxis	556	541	603	578	570	591	406	3854
Automóviles	1089	1078	1051	1062	1038	1066	961	7345
Bus	15	19	17	12	16	18	9	106
Buseta	638	639	625	632	617	645	502	4298
Alimentador	345	349	352	344	345	353	292	2380
C2P	101	95	109	88	89	93	50	625
C2G	147	142	155	137	142	156	104	983
C3-4	22	23	28	20	21	15	23	152
C5	5	7	6	5	8	7	6	44
Total día	2918	2893	2946	2878	846	2944	2362	19787

**Tabla 5:** Datos utilizados para el cálculo de la variable tránsito en los tres (3) tramos

Variable	Tramo		
	1	2	3
N	8547235	3131494	4300000
TPD	13200	2147	2827
K1	18.4	37.2	43.4
K2	50	50	50
r	0.025	0.035	0.035
n	10	10	508.396
FC	1.7	1.8	3.457

Como se observa, la variable *tránsito* actual (N o W18) para el tramo dos, tiene un valor de  $3.13 \times 10^6$  en comparación al número de ejes equivalente de 8.2 toneladas para los diseños originales que fue de  $5.0 \times 10^5$  (Ver tabla 1).

**Tabla 6:** Valores de N (W18) para los diseños de construcción y los actuales.

Tramo	Variable Transito	
	Proyectada a 10 años	Evaluada a 10 años
1	6 420 000	8 547 235
2	500 000	3 131 494
3	4 300 000	9 237 961

**Tabla 7:** Variables utilizadas para el cálculo de los números estructurales (SN) – Diseños actuales

Variable	Tramo		
	1	2	3
W18	8547235	3131494	9237961
Zr	-1.282	-1	-1
So	0.45	0.45	0.45
DPSI	1.8	2	2
Mr base [psi]	570000	30500	30500
SN1	0.82	2.31	2.74
Mr subbase [psi]	13000	13800	13800
SN2	3.94	3.09	3.65
Mr subrasante [psi]	4500	4500	7500
SN3	5.62	5.62	4.50

**Tabla 8:** Resultados de los coeficientes estructurales de capa - Vigentes

Coeficiente	Tramo		
	1	2	3
a1	0.41	0.41	0.41
a2	0.19	0.14	0.14
a3	0.09	0.10	0.10
m2	1	1	1
m3	0.8	0.9	0.9

**Tabla 9:** Espesores de las capas originales del pavimento flexible en los tres (3) tramos

Capa	Identificador	Espesor (cm)		
		Tramo		
		1	2	3
Mezcla asfáltica	h1	12	8	12
Base	h2	30	15	20
Sub-base	h3	48.3	48.3	41

Si se realiza un cambio en nuestra fórmula utilizada para hallar la variable tránsito, se

podría iterar tomando como ejemplo el tramos dos (2), el periodo de diseño de manera que coincidan lo más posible las variables de tránsito tanto la actual como la de los diseños originales de construcción de la vía, obteniendo lo que se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10:** Comparación de las dos variables de tránsito (con el periodo de diseño “n” modificado)

Variable	Valor
Periodo (años)	10
N antigua	500000
N vigente	500012
TPD	2147
K1	37.2
K2	50
r	0.035
n	1.85
FC	1.8

Con estos datos se puede observar que a los 1.85 años aproximadamente la estructura vial cumplió su periodo de diseño, que en teoría debería estar en 10 años; por esta razón el redimensionamiento de la sub-base es necesario para evitar rehabilitaciones y mejoramiento de la estructura en plazos cortos, aunque se aumente el costo inicial al diseñar con las nuevas dimensiones. Se puede apreciar el aumento en la dimensión de la sub-base Granular en 26.5 cm con el diseño actual; si suponemos que vamos a diseñar una vía de 1 km de largo con un ancho de carril de 3.65 m podemos inferir lo siguiente:

**Ecuación 1:** Volumen del material sub-base granular por kilómetro de vía:

$$\text{Volumen de material (SUB-BASE)} = 1000m * 3.65m * 0.48m$$

$$\text{Volumen de material (SUB-BASE)} = 1,752 m^3$$

1,000 m = 1 kilómetro de vía expresada en metros.

3.65 m = Ancho del carril de la vía a construir

en metros.

0.48 m = Espesor de la sub-base granular tramo 1, con las dimensiones actuales.

De esta manera se calcula el volumen en metros cúbicos del material (sub-base) que necesitará el kilómetro de vía que se va a construir. Se obtiene que son 1,752 m<sup>3</sup> que si se multiplican por el valor por metro cúbico de “sub-base granular SBG-1 Invías” (suministro, extendido, nivelación, humedecimiento y compactación), arroja el precio total de los 1,752 m<sup>3</sup> de material sub-base (IDU, 2013).

**Ecuación 2:** Valor total en pesos del material sub-base por kilómetro de vía:

Precio total kilómetro vía = $1,752m^3 \times 113,529.94$ Precio total kilómetro vía = \$198'904.455
--

Si se procede de la misma manera para calcular el precio y el volumen de la sub-base para los diseños originales se obtiene que:

**Ecuación 3:** volumen del material sub-base granular por kilómetro de vía:

Volumen de material (SUB-BASE) = 1,000m $\times 3.65m \times 0.22m$ Volumen de material (SUB-BASE) = 803 m <sup>3</sup>
---

**Ecuación 4:** valor total en pesos del material sub-base por kilómetro de vía:

Precio total kilómetro vía = $803m^3 \times 113,529.94$ Precio total kilómetro vía = \$91'164.541.8
---

Se realizó la comparación entre los dos valores por kilómetro de vía con los dos valores de espesores (diseños originales y diseños actuales) y se obtuvo la diferencia de precios por kilómetro de vía.

**Ecuación 5:** valor total en pesos del material sub-base por kilómetro de vía:

\$198'904.455 - \$91'164.541,8
<b>\$107'739.913</b>

El valor obtenido de la diferencia (ecuación 5) es el costo en millones de pesos que valdría construir el kilómetro de vía con el grosor de la capa sub-base que genera el presente estudio.

## CONCLUSIONES

- Se concluye que es necesario para los diseños futuros sobre las vías de las periferias, tener en cuenta las cantidades necesarias de los materiales para la implementación de los buses alimentadores por las vías terciarias de la Ciudad, ya que el mal estado de la malla vial en estas ha sido directa y de gran impacto por la carga vehicular, la cantidad de usuarios y las frecuencias en las cuales circulan por estos tramos de vía.
- El mal estado vial en los tres puntos clave de estudio tiene consecuencias directas en los habitantes de la zona, por la baja velocidad a la que circulan, por la cantidad de usuarios, paradas, la calidad del traslado portal-paraderos-portal, en donde se evidencia entre 30 y 45 minutos desde el tiempo que se toma el servicio, ya sea del portal a la última parada, o viceversa (sin contar el tiempo de espera por parte del usuario a que un bus alimentador lo recoja y a que haya el espacio disponible para utilizarlo), generando que una persona promedio que se desplace pueda emplear un tiempo de 1:30 – 2:00 horas contando a que pueda tomar el bus articulado o biarticulado para llegar a su destino.
- El valor del material Subbase para

construir por kilómetro de vía se incrementa de forma directa en el estudio, al aumentar el espesor de dicha capa. Con esto se concluye que el valor por kilómetro a raíz de este estudio es mayor, pero es necesario a la hora de construir la vía para diseñar a futuro con la demanda de tráfico actual y evaluar las condiciones al terminar el periodo de su diseño.

## Recomendaciones

- Se considera pertinente, para los diseños futuros sobre las vías de las periferias, tener en cuenta las cantidades necesarias de los materiales para la implementación de los buses alimentadores por las vías terciarias de la ciudad, ya que el mal estado de la malla vial en estas ha sido directa y de gran impacto por la carga vehicular, la cantidad de usuarios y las frecuencias en las cuales circulan por estos tramos de vía.
- Las diferencias en los costos del proyecto respecto a la sub-base deben ser tomadas en cuenta para una futura intervención, consultoría y construcción de una vía de pavimento flexible terciaria independientemente de la localización que esta tenga.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá (2011). Movilidad en cifras. Bogotá: Secretaría Distrital de Movilidad. Recuperado el 14 de diciembre de 2011, de: [http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx\\_archivos/audio\\_y\\_video/boletin%20cifras.pdf](http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx_archivos/audio_y_video/boletin%20cifras.pdf)
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) (2012). Base de datos de inventario. Recuperado el 14 de diciembre de 2012 de:

<https://www.idu.gov.co/atencion-al-ciudadano/conservacion/inventario-malla-vial>

<http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/113692/16/60021958-12.pdf>

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) Centro de Documentación (2003). Estudios y Diseños de Accesos a Barrios Pavimentos Locales: Estudios y diseños geométricos. [CD-ROM]. Bogotá, Colombia.

Montejo F., A. (2006). Ingeniería de pavimentos. Tomo I. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) (2013). Listado de precios de referencia de actividades de obra. Bogotá, D.C. Recuperado el 15 de enero de 2013 de:

Hugo Alexander Rondón Q., H.A. y Reyes L., F.A. (2012). Pavimentos. Materiales, construcción y diseño. Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda.