

**CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DE TRÁNSITO DEL SISTEMA VIAL EN
EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PROVENZA Y PIEDECUESTA EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**ELVA ROCIO REYES MARTÍNEZ
LUZ MARY VARGAS RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DE TRÁNSITO DEL SISTEMA VIAL EN
EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PROVENZA Y PIEDECUESTA EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**ELVA ROCIO REYES MARTÍNEZ
LUZ MARY VARGAS RODRÍGUEZ**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director:

**LUIS DAVID ARÉVALO DURAN
Especialista en Administración de Empresas
Especialista en Ingeniería de Transito**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a Dios, porque en los momentos que más lo necesite fue mi fortaleza para seguir adelante y finalmente terminar mi carrera; sin Él nada hubiese sido posible, a mi familia, muy especialmente a mi mamá Zulay Martínez por su gran esfuerzo, dedicación y apoyo para lograr mi objetivo, al ingeniero Luis David Arévalo Durán quien contribuyo con sus conocimientos para la realización de este proyecto como director, a mi compañera de proyecto, y amiga Luz Mary Vargas Rodríguez por compartir esta experiencia conmigo.

A Jhon Jairo Camacho Ávila quien como novio, amigo y compañero me brindo su paciencia, cariño, comprensión, dedicación y apoyo incondicional en los momentos más difíciles; por todo esto y más mil y mil gracias.

A todas aquellas personas, compañeros y amigos que se quedan sin nombrar pero que de una u otra manera hicieron parte de este proceso, les estaré siempre inmensamente agradecida.

Rocio Reyes Martínez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. DEFINICIONES	15
2. METODOLOGÍA	18
2.1 SELECCIÓN DE LOS TRAMOS VIALES	19
2.2 TOMA DE DATOS EN CAMPO.	20
2.2.1 Flujo vehicular y TPDA	20
2.2.2 Determinación de la velocidad media	22
2.3 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO	22
2.4 PROYECCIÓN DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO SEGÚN DATOS HISTÓRICOS	23
2.5 COMPARACIONES GEOMÉTRICAS EN CUANTO AL PERFIL VIAL	24
3. VOLÚMENES DE TRÁNSITO	26
4. NIVELES DE SERVICIO	32
5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA AUTOPISTA	43
6. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VIA EN CUANTO AL PERFIL VIAL	46
7. MOVILIDAD Y CAPACIDAD DE TRÁNSITO	50
8. CONCLUSIONES	53

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Demarcación del tramo en estudio	18
Figura 2. Metodología de la investigación	19
Figura 3. Curvas velocidad – flujo y niveles de servicio en segmentos básicos de autopistas	23
Figura 4. Sección típica del tramo en estudio	24
Figura 5. Volumen horario de máxima demanda tramos 2 y 3	29
Figura 6. Características del volumen de tránsito tramo 1	33
Figura 7. Determinación del nivel de servicio, tramo 1	36
Figura 8. Determinación del nivel de servicio aceptable, tramo 1	37
Figura 9. Características del volumen de tránsito, tramo 2	38
Figura 10. Determinación del nivel de servicio, tramo 2	39
Figura 11. Características del volumen de tránsito, tramo 3	40
Figura 12. Determinación del nivel de servicio, tramo 2	41
Figura 13. Determinación del nivel de servicio aceptable, tramo 3	41
Figura 14. Porcentaje de cada tipo de vehículo circulando en cada tramo	44
Figura 15. Porcentaje de vehículos para cálculos circulando en cada tramo	45
Figura 16. Secciones transversales del tramo vial en estudio	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tránsito promedio diario histórico	21
Tabla 2. Regresión lineal simple. Floridablanca-Bucaramanga	27
Tabla 3. Valores estimados para el volumen de tránsito Floridablanca-Bucaramanga	28
Tabla 4. Regresión lineal simple. Piedecuesta-Floridablanca	29
Tabla 5. Valores estimados para el volumen de tránsito diario, en el sector Piedecuesta-Floridablanca	30
Tabla 6. Factores de equivalencia de automóviles	36
Tabla 7. Principales características de la vía analizada	46
Tabla 8. Velocidad tomada en campo y niveles de servicio para cada tramo analizado	50
Tabla 9. Velocidad tomada en campo y niveles de servicio para cada tramo analizado	51
Tabla 10. Velocidad de diseño, de campo y niveles de servicio para cada tramo analizado	52

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Volúmenes de tránsito hallados en campo	61
Anexo B: Perfiles viales recomendados	63

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DE TRÁNSITO DEL SISTEMA VIAL EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PROVENZA Y PIEDECUESTA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA*

AUTORES: ELVA ROCIO REYES MARTÍNEZ
LUZ MARY VARGAS RODRÍGUEZ**

PALABRAS CLAVE: Capacidad vial, Volúmenes de tránsito, TPDS, Niveles de servicio, Tasa de flujo, Velocidades de punto, Velocidad a flujo libre.

El presente trabajo de grado tuvo como finalidad realizar una investigación de volúmenes de tránsito, capacidad vial y diseños geométricos del sistema vial en la denominada autopista Bucaramanga-Piedecuesta.

El objetivo principal fue plantear un diagnóstico de los elementos del diseño geométrico en comparación con los volúmenes de la vía en estudio identificando las falencias técnicas del perfil vial, en los tres tramos de la vía seleccionados con el propósito de calcular los volúmenes de tránsito en base a datos históricos, usando el método de la regresión lineal, clasificar el sistema de acuerdo a los niveles de servicio, calculando las velocidades de punto correspondientes a cuatro percentiles que indican: P_{15} el límite inferior de velocidad, P_{50} la velocidad media aproximada, P_{85} el límite máximo o velocidad de operación, y P_{98} la velocidad de proyecto; identificar las características de la vía y hacer la respectiva comparación con las normativas pertinentes, con el fin de evaluar las condiciones actuales de movilidad y la capacidad de tránsito del sistema en función de los niveles de servicio y de las características geométricas adecuadas que debería tener la vía para ser denominada autopista. La determinación de dichas características se hizo mediante la toma de datos en campo, aforos de flujo vehicular, toma de velocidades y medición de los perfiles viales a lo largo del tramo, e información suministrada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB).

* Proyecto de grado

** facultad de Ingenierías físicas y mecánicas. Escuela de ingeniería civil. director

ABSTRACT

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DE TRÁNSITO DEL SISTEMA VIAL EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PROVENZA Y PIEDECUESTA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA^{*}

AUTORES: ELVA ROCIO REYES MARTÍNEZ
LUZ MARY VARGAS RODRÍGUEZ^{**}

KEYWORDS: road capacity, traffic volumes, TPDS, service levels, flow rate, speed point, Free Flow Speed.

The present work of grade it aimed to conduct an investigation of traffic volumes, capacity and geometric aspects of the vial Profile called freeway Bucaramanga-Piedecuesta.

The main objective was to raise a diagnosis of geometric design elements compared with the volumes of the route under study identifying the technical shortcomings of the road profile, the three sections of the route selected for the purpose of calculating traffic volumes based historical data, using the method of linear regression, classify the system according to service levels, calculating the point speeds corresponding to four percentiles indicating: P15 the lower speed limit, P50 approximate average speed, P85 the limit or maximum operating speed, and the speed P98 project; identify the characteristics of the track and make the appropriate comparison with relevant regulations, in order to assess the current conditions of mobility and traffic capacity of the system based on service levels and appropriate geometric characteristics that should have the to be called via freeway. The determination of these characteristics was made by taking field data, traffic counts of vehicular flow, making speed and measurement of road sections along the stretch, and information provided by the National Roads Institute (INVIAS) and Area metropolitan Bucaramanga (AMB).

^{*} Project of grade

^{**} Faculty of Engineering Physical Mechanical School of Engineering Civil . Director

INTRODUCCIÓN

La infraestructura del sistema vial es uno de los principales factores que determinan el grado de desarrollo de un país, es por esta razón que una vía debe tener condiciones de transitabilidad y accesibilidad en el espacio y el tiempo que garanticen seguridad, rapidez y velocidad. Con el tiempo el crecimiento demográfico ha aumentado y por ende también lo ha hecho el parque automotor, razón por la cual se ha visto la necesidad de implementar sistemas viales más eficientes, como lo son las autopistas.

La velocidad se ha manifestado siempre como una respuesta al deseo humano de comunicarse rápidamente; en éste sentido la velocidad es uno de los principales indicadores utilizados para medir la calidad de la operación a través de los vehículos. A su vez los diferentes sistemas viales localizan éste factor como uno de los más importantes para su categorización, por ejemplo las autopistas que tienen velocidades de diseño elevadas con el objeto de dar solución a los problemas de movilidad.

En el presente proyecto de investigación se realiza un análisis del sistema vial localizado en el Área Metropolitana de Bucaramanga, en el tramo comprendido entre Provenza y Piedecuesta, con el fin de determinar las condiciones prevalecientes del tramo en estudio, determinando los niveles de servicio existentes y las características del perfil vial correspondientes.

1. DEFINICIONES

Aforo: Es la enumeración de los vehículos que pasa por uno o varios puntos de una vía, clasificándolos de acuerdo con distintos criterios. [4]

Autopistas (AP): Son vías de dos o más calzadas, donde cada calzada es unidireccional y está compuesta a su vez por dos o más carriles. Una autopista debe garantizar un flujo completamente continuo, sin intersecciones a nivel y donde todos los accesos y salidas estén dotados de los correspondientes controles de modo que no interfieran o alteren el tráfico que circula sobre esta. [5]

Capacidad: Es el número máximo de vehículos que puede pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. [1]

Condiciones de tránsito: Se refiere a la distribución del tránsito en el tiempo y en el espacio; a su composición en tipos de vehículos como livianos, camiones, autobuses y vehículos recreativo; a la distribución direccional en carreteras de dos carriles dos sentidos; y a la distribución por carril en carreras de carriles múltiples. [1]

Demanda: Es el número de vehículos o personas que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. [1]

FHMD: Factor horario de máxima demanda. [1]

Fhv: Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados. [1]

FSS: Velocidad a Flujo libre estimada (Km/h). [1]

Nivel de Servicio: Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en término de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. [1]

Ondas de parada: son perturbaciones que viajan por una distribución de vehículos en una autopista o vía transitable. Las ondas de tráfico se perciben como áreas donde los vehículos están más juntos y áreas donde los vehículos tienen mayores distancias. [6]

P15: Límite inferior de la velocidad a flujo libre. [1]

P50: Medida de calidad de flujo vehicular y es aproximadamente igual a la velocidad media. [1]

P85: Velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite de la velocidad. [1]

P98: Se utiliza para establecer la velocidad de proyecto. [1]

Q máx.: Volumen máximo en un intervalo de 15 minutos dentro de la hora de máxima demanda. [1]

S: Velocidad media de los automóviles (Km/h). [1]

Tasa de Flujo: Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos o personas durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente. [1]

Tránsito promedio diario (TPD): Número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo. [1]

V: Volumen horario por sentido (vehículos mixtos/hora). [1]

Vehículos recreativos: Un camión, camioneta, casa rodante o remolque diseñado para su utilización como viviendas utilizadas para actividades recreativas durante la noche y los viajes. [7]

Velocidad a flujo libre: Es la velocidad media de los vehículos livianos, medida durante flujos bajos a moderados, es decir en horas valle. [1]

Velocidad de Punto: Están diseñadas para medir las características de la velocidad en un lugar específico, bajo condiciones prevalecientes del tránsito y del estado del tiempo. [1]

Volumen: Es el número de vehículos o personas que pasan por un punto durante un tiempo específico. [1]

Volumen horario de máxima demanda (VHMD): Es el máximo número de vehículos que pasan por punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. [1]

Volumen horario de proyecto (VHP): Es el volumen de tránsito horario que servirá de base para determinar las características geométricas de la vialidad. [1]

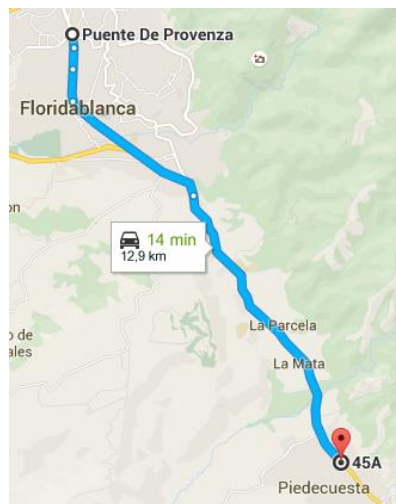
Vp: Tasa de flujo equivalente (vehículos livianos/hora/Carril). [1]

2. METODOLOGÍA

La investigación se basa en la caracterización geométrica y del tránsito de la autopista Bucaramanga – Piedecuesta en el sector comprendido entre Provenza (Bucaramanga) y San Francisco (Piedecuesta), el cual tiene una longitud aproximada de 12,9 km, dividido en tres tramos viales seleccionados los cuales son:

- **Tramo 1:** Puente de Provenza hasta el retorno “La Turena”,
- **Tramo 2:** Retorno “La Turena” hasta la estación de Metrolínea “La Española”,
- **Tramo 3:** Estación “La española” hasta el sector San Francisco en Piedecuesta,

Figura 1. Demarcación del tramo en estudio



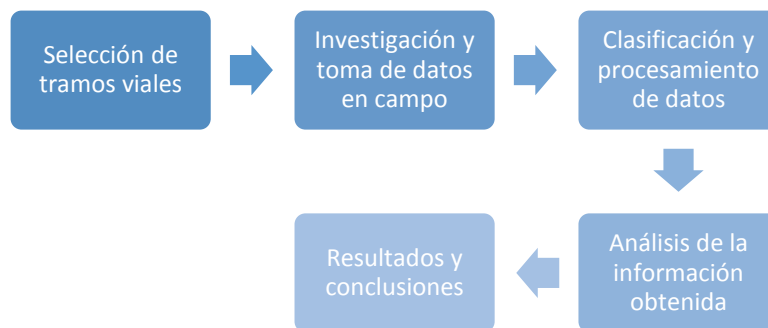
Fuente: Google Maps

Para esto se hizo un trabajo de campo los cuales comprendieron aforos vehiculares, toma de velocidades promedio de los vehículos y medición de las características actuales de la vía (carriles, bermas y separador central). Seguidamente se realizó el análisis de los datos obtenidos y de la información

suministrada por el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), para determinar los niveles de servicio y las características de capacidad que se presentan actualmente y realizar la comparación pertinente con lo estipulado en el manual de capacidad de carreteras, *Highway Capacity Manual* (HCM -2000).

Los pasos que se llevaron a cabo en la investigación se muestran en la figura 2

Figura 2. Metodología de la investigación



El trabajo de campo fue realizado en la semana del 16 al 22 de mayo del 2016, el cual es un periodo normal de estudio y trabajo y no un periodo vacacional por lo que podemos decir que es una semana típica viéndolo desde el punto de vista del tránsito.

2.1 SELECCIÓN DE LOS TRAMOS VIALES

Para la determinación de los tramos en estudio, se realizó un análisis de tránsito en base a los datos históricos existentes de la red vial en cuestión (Autopista Bucaramanga – Piedecuesta), y los cuales fueron facilitados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), donde a partir de los mismos, y realizando un análisis detallado, se estableció que las variaciones vehiculares más representativas se

presentan cerca de las ciudades (Bucaramanga y Piedecuesta), posiblemente debido a que en estas hay muchas incorporaciones de tráfico, lo que genera un aumento en el volumen vehicular en las vías de circulación. De esta manera y basados en lo anterior se seleccionaron tres tramos viales característicos que se ajustan a este comportamiento: uno intermedio entre las dos ciudades que intervienen en la vía, donde el tráfico es más bajo; y los otros dos cercanos en el área de influencia de Bucaramanga y Piedecuesta respectivamente.

2.2 TOMA DE DATOS EN CAMPO.

2.2.1 Flujo vehicular y TPDA Después de seleccionados los tramos se hizo la recolección de los datos en campo mediante aforos en un punto representativo de cada tramo; dichos aforos se realizaron los días miércoles y viernes, en las horas de máxima demanda, comprendidas entre 6:00 am y 8:00 am en sentido Sur-Norte y entre las 5:30 pm y 7:30 pm en sentido Norte-Sur, determinando con esto la cantidad de vehículos, las velocidades medias y los niveles de servicio en cada uno de ellos. Los datos recopilados en campo se encuentran contenidos en el anexo 1 el cual hace parte integral de este documento.

Así mismo se solicitó información al Instituto Nacional de Vías (INVIAS) quienes suministraron datos históricos en cuanto a aforos vehiculares de los tramos Floridablanca-Bucaramanga y Piedecuesta-Floridablanca, para ser tabulados y mediante una regresión lineal determinar el tránsito promedio diario actual (TPDA) de la vía. En la tabla 1 se muestran los datos suministrados por el INVIAS.

Tabla 1. Tránsito promedio diario histórico

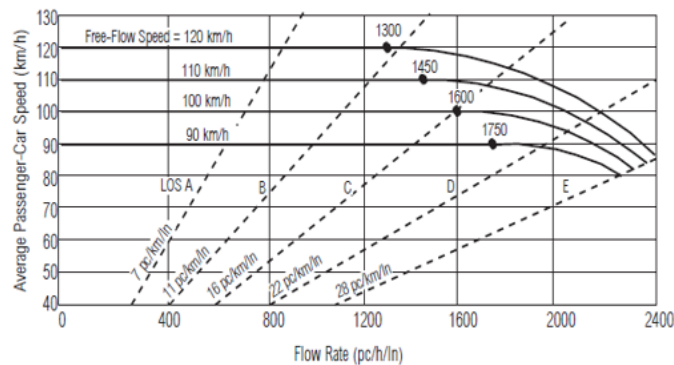
Floridablanca - Bucaramanga	
Año	TPDS
1997	41890
1998	45245
1999	47528
2000	49041
2001	53862
2002	50247
2003	52150
2004	50112
2005	48347
2006	46569
2007	62493
2008	59272
Piedecuesta - Floridablanca	
Año	TPDS
1997	22981
1998	24369
1999	27303
2000	25654
2001	27721
2002	28035
2003	28672
2004	25139
2005	27935
2006	33599
2007	37475
2008	37730
2009	39533
2010	38031
2011	39437
2012	53784
2013	38088

2.2.2 Determinación de la velocidad media Para realizar la determinación de la velocidad media, se tomó la velocidad a flujo libre en campo para cada uno de los puntos seleccionados por tramo de la siguiente manera: se seleccionó una muestra de 150 vehículos mixtos a los que se les cronometró el tiempo que tardaban en recorrer una distancia de 50 metros. Una vez analizados los datos recopilados en campo, se determinó la velocidad media de punto mediante la utilización del método de estudio de velocidades de punto consignado en el capítulo 9 del libro Ingeniería del Tránsito Fundamentos y aplicaciones^[1]

2.3 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO

Se determinaron los niveles de servicio en cada tramo mediante el análisis de los datos tomados en campo y la determinación de la velocidad media en cada uno de los puntos seleccionados, con el fin de saber cuál es el nivel de servicio existente y hacer la comparación con lo estipulado en el *Highway Capacity Manual* (HCM-2000). Además se establecen las condiciones óptimas que debería tener el sistema vial para ser denominado autopista. Es así como dichos niveles de servicio fueron determinados en base al método contenido en el capítulo 12 del libro Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones^[1] y el cual se fundamenta en la utilización de la figura 3 del mismo documento.

Figura 3. Curvas velocidad – flujo y niveles de servicio en segmentos básicos de autopistas



Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

2.4 PROYECCIÓN DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO SEGÚN DATOS HISTÓRICOS

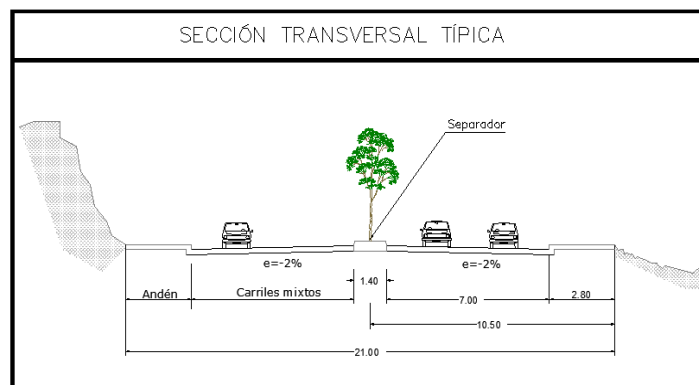
Para obtener una estimación de los volúmenes de tránsito futuro en carreteras de debe contar con una serie de datos históricos del tránsito promedio diario semanal (TPDS) con los cuales se pueda realizar una regresión lineal o curvilínea ya que según estudios se dice que “los pronósticos mediante la regresión exponencial, con el transcurrir de los años, tienden a ser más elevados, que en cualquiera de las demás regresiones. Por el contrario, los pronósticos mediante las regresiones potencial y logarítmica, tienden a ser más bajos. En la práctica, se ha comprobado que los volúmenes de tránsito futuro, no tienden a ser tan altos y tampoco tienden a ser tan bajos, por lo que la regresión lineal es la que más se ajusta a su tendencia de crecimiento.”^[1]

2.5 COMPARACIONES GEOMÉTRICAS EN CUANTO AL PERFIL VIAL

El diseño geométrico, es una de las partes más importantes de un proyecto de carreteras y debe satisfacer de la mejor manera aspectos como la seguridad, la comodidad, la funcionalidad, el entorno, la economía, la estética y la elasticidad; es así como se buscó realizar un comparativo de las características existentes actualmente en la vía y determinar si estas son adecuadas para que la misma sea denominada autopista; la metodología de comparación utilizada fue la de realizar perfiles viales en diferentes puntos del tramo en estudio con el fin de realizar una comparación geométrica que permita deducir las condiciones actuales del sistema vial.

En la figura 4 se representa la sección transversal típica que se tiene la totalidad del tramo en estudio.

Figura 4. Sección típica del tramo en estudio



Fuente: Área metropolitana de Bucaramanga

Las mediciones del perfil de los tramos estudiados se realizaron en campo con un odómetro y una cinta métrica; además se contó con los planos de diseño facilitados por el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), que contienen la información de los perfiles viales desde el sector conocido como “Papi Quiero

piña” (Bucaramanga) hasta el sector el Molino (Piedecuesta), con los cuales se realizó una comparación entre lo existente en la vía y lo estipulado en el diseño.

3. VOLÚMENES DE TRÁNSITO

Los aforos vehiculares se realizaron con el propósito de obtener los volúmenes de tránsito que pasan por un punto determinado en un sentido de la vía y en un período de tiempo estipulado, con lo cual se puede determinar las variaciones periódicas de los volúmenes dentro de las horas de máxima demanda.

La determinación de los volúmenes de tránsito en cada tramo, se realizó mediante análisis de la información suministrada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en los cuales se encuentran los datos históricos del tránsito promedio diario semanal (TPDS) en el periodo 1997 – 2008 para el tramo Floridablanca – Bucaramanga y 1997 – 2013 en el tramo Piedecuesta – Floridablanca. Con base a esto se realizó una regresión lineal para la estimación del TPDS para el año 2016 en todo el tramo de vía a analizar.

En la tabla 3 se aprecian los valores de TPDS en el periodo 1997-2008 para el tramo Floridablanca– Bucaramanga, en la misma se determinaron los valores necesarios para realizar la regresión lineal como lo son:

- x_i : que corresponde a la numeración de los años donde tenemos el volumen de tránsito,
- y_i : es la cantidad de vehículos que pasan por día por sentido,

Tabla 2. Regresión lineal simple. Floridablanca-Bucaramanga

Floridablanca - Bucaramanga						
Año	TPDS	xi	yi	xi^2	xi.yi	yi^2
1997	41890	1	41890	1	41890	1754772100
1998	45245	2	45245	4	90490	2047110025
1999	47528	3	47528	9	142584	2258910784
2000	49041	4	49041	16	196164	2405019681
2001	53862	5	53862	25	269310	2901115044
2002	50247	6	50247	36	301482	2524761009
2003	52150	7	52150	49	365050	2719622500
2004	50112	8	50112	64	400896	2511212544
2005	48347	9	48347	81	435123	2337432409
2006	46569	10	46569	100	465690	2168671761
2007	62493	11	62493	121	687423	3905375049
2008	59272	12	59272	144	711264	3513169984
Σ		78	606756	650	4107366	31047172890

La regresión lineal de los valores obtenidos de la tabla 3 obedecen a la ecuación de la recta de forma $y_i = a + bx_i$, donde y_i corresponde al valor proyectado para el año en el que se quiere obtener el dato, (a) y (b) son parámetros que se hallan y (x_i) es el número del año en el que se quiere obtener el volumen de tránsito.

Para encontrar los valores de (a) y (b) se requieren dos ecuaciones con dos incógnitas, las cuales son:

$$12a + 78b = 606756 \quad (1)$$

$$78a + 650b = 4107366 \quad (2)$$

De donde se obtienen los siguientes valores

➤ $a = 43133,4$

➤ $b = 1143,02$

Luego de obtener los valores de a y b se puede determinar el volumen de tránsito del tramo en estudio de acuerdo a la regresión lineal dada por la ecuación de la

recta. En la tabla 4 se observan los valores estimados para el volumen de tránsito del primer tramo.

Tabla 3. Valores estimados para el volumen de tránsito Floridablanca-Bucaramanga

Año	Xi	Tránsito estimado
1997	1	44276
1998	2	45419
1999	3	46562
2000	4	47705
2001	5	48848
2002	6	49991
2003	7	51135
2004	8	52278
2005	9	53421
2006	10	54564
2007	11	55707
2008	12	56850
2009	13	57993
2010	14	59136
2011	15	60279
2012	16	61422
2013	17	62565
2014	18	63708
2015	19	64851
2016	20	65994

El estimativo para el volumen de tránsito del año 2016 en el tramo comprendido entre el puente de Provenza (Bucaramanga) y el primer retorno “La Turena” (Floridablanca) tiene un valor aproximado de 65.994 vehículos diarios por sentido, este resulta ser un indicador del evidente incremento anual en la circulación de vehículos en el área metropolitana de Bucaramanga, siendo este aumento de aproximadamente 1,86% por cada año.

Se procede de igual manera a calcular el volumen de tránsito en los dos tramos restantes con los datos históricos suministrados por el INVIAS, los cuales están dados entre Piedecuesta y Floridablanca, por lo que abarca dos de los tramos a

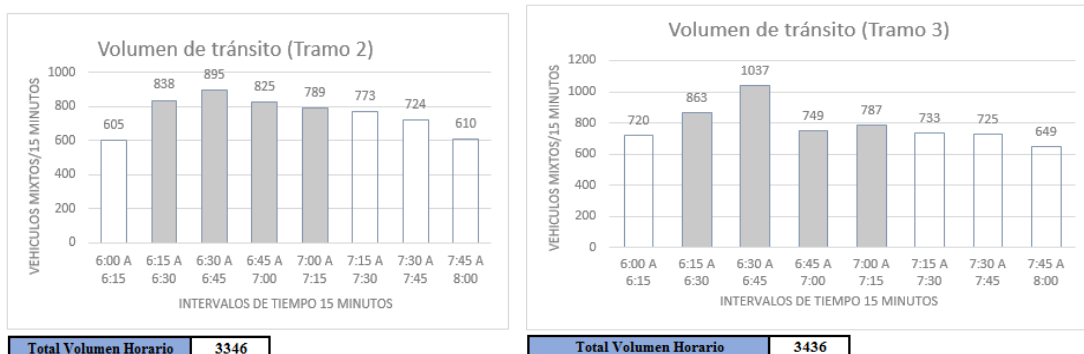
analizar. Los datos del tramo comprendido entre Piedecuesta y Floridablanca se muestran en la tabla 5

Tabla 4. Regresión lineal simple. Piedecuesta-Floridablanca

Piedecuesta - Floridablanca						
Año	TPDS	xi	yi	xi ²	xi.yi	yi ²
1997	22981	1	22981	1	22981	528126361
1998	24369	2	24369	4	48738	593848161
1999	27303	3	27303	9	81909	745453809
2000	25654	4	25654	16	102616	658127716
2001	27721	5	27721	25	138605	768453841
2002	28035	6	28035	36	168210	785961225
2003	28672	7	28672	49	200704	822083584
2004	25139	8	25139	64	201112	631969321
2005	27935	9	27935	81	251415	780364225
2006	33599	10	33599	100	335990	1128892801
2007	37475	11	37475	121	412225	1404375625
2008	37730	12	37730	144	452760	1423552900
2009	39533	13	39533	169	513929	1562858089
2010	38031	14	38031	196	532434	1446356961
2011	39437	15	39437	225	591555	155276969
2012	53784	16	53784	256	860544	2892718656
2013	38088	17	38088	289	647496	1450695744
Σ		153	555486	1785	5563223	19179115988

Los resultados para los tramos dos y tres se deben entender como el resultado de la regresión lineal a los datos suministrados por el INVIAS y llevados al año en el cual se realiza la investigación. En la figura 5 se muestran los volúmenes horarios de máxima demanda para el tramo dos y tres respectivamente basados en los aforos vehiculares tomados en campo.

Figura 5. Volumen horario de máxima demanda tramos 2 y 3



En la tabla 6 se observa los resultados obtenidos de la regresión lineal donde se aprecia que para el año 2016 el tránsito estimado es de 47.877 vehículos por día en cada sentido en el tramo comprendido entre Piedecuesta y Floridablanca. El incremento del tránsito en este tramo para los últimos años es de aproximadamente 3,28% que comparándolo con el 1,86% reportado para el sector de Bucaramanga, deja en evidencia que ha sido más significativa la ampliación del parque automotor en este sector que en Bucaramanga, lo que posiblemente puede ser generado por el crecimiento poblacional e industrial en los municipios de Floridablanca y Piedecuesta.

Tabla 5. Valores estimados para el volumen de tránsito diario, en el sector Piedecuesta-Floridablanca

Año	Xi	Tránsito estimado
1997	1	21620
1998	2	23002
1999	3	24384
2000	4	25766
2001	5	27148
2002	6	28530
2003	7	29912
2004	8	31294
2005	9	32676
2006	10	34058
2007	11	35440
2008	12	36822
2009	13	38204
2010	14	39586
2011	15	40968
2012	16	42350
2013	17	43732
2014	18	45113
2015	19	46495
2016	20	47877

Teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente en la figura 5 para cada tramo y el valor obtenido mediante la regresión lineal para el año 2016, se procedió a determinar los valores del TPDA de la siguiente manera:

$$\%T2 = \frac{VHMD(tramo2)}{\frac{VHMD(Tramo2) + VHMD(Tramo3)}{2}} \quad (3)$$

$$TPDA(T2) = 47.877 - (47.877 * \%T2) \quad (4)$$

$$TPDA(T3) = 47.877 + (47.877 * \%T3) \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que en las ecuaciones (4) y (5) se suma y en la otra se resta el porcentaje en relación a que el volumen horario hallado es mayor en un tramo que en el otro. Obteniendo así los siguientes resultados:

- % Tramo 2=98,67
- % Tramo 3=101,33
- TPDS (Tramo 2)=47.240
- TPDS (Tramo 3)=48.513

Comparados con los 65.944 vehículos proyectados para el tramo Bucaramanga-Floridablanca, el tramo Floridablanca- Piedecuesta registra sólo un 72,60% respecto a este, indicativo de mayor concentración poblacional en Bucaramanga, aunque presente un menor crecimiento promedio del parque automotor que entre Floridablanca- Piedecuesta.

4. NIVELES DE SERVICIO

El nivel de servicio desde el punto de vista del tránsito es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la convivencia y la seguridad vial [1].

El *Highway capacity manual* (HCM) 2000 estableció seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E, y F siendo el nivel A en el que se presentan los mejores entornos para la movilidad y el nivel F el que se encuentran las condiciones más desfavorables. Cuando la magnitud del flujo circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema, se dice que está funcionando aceptablemente.

El nivel de servicio se determina por medio de factores externos e internos. Los factores externos son características físicas de la vía como el ancho de carril, distancia lateral, pendientes, etc, y pueden ser medidos en una hora conveniente; mientras que los factores internos como la composición vehicular, la velocidad y el tiempo de recorrido, deben ser medidos durante el periodo de mayor flujo, es decir en horas pico.

En esta investigación se calcularon niveles de servicio para los tres tramos en estudio, debido a las diferencias en flujo vehicular, velocidad de operación y características físicas entre tramos. Se realizaron mediciones en campo para determinar los factores externos e internos y se plantean las características que deberían tener para conseguir un nivel de servicio aceptable, oscilante entre C y D.

Como factor principal para el cálculo del nivel de servicio, se determinó la hora de máxima demanda para cada tramo, mediante aforos vehiculares en las horas de mayor afluencia vehicular, es decir, en horas pico de días típicos de la semana. Los aforos se realizaron contando el número de vehículos mixtos que circulan en los dos sentidos de la vía, y posteriormente se llevaron a una sola equivalencia de vehículos livianos, esto con el fin de trabajar con un solo tipo de vehículo de diseño.

En la figura 6 se muestra el resultado de la hora de máxima demanda para el primer tramo, calculado en 5.698 vehículos mixtos por hora por sentido, resaltando que el total de automotores aforados es de 7.099, pero debido a que las motocicletas no se encuentran en las fórmulas para el cálculo del volumen de tránsito, éstas deben ser llevadas a su equivalencia de vehículo mixto, siendo ésta de 0,5 vehículos por cada motocicleta que transita según el proyecto de grado “Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas”[3]. Esto es que en términos de movilidad dos motocicletas asemejan su ocupación a la de un vehículo liviano.

Figura 6. Características del volumen de tránsito tramo 1



Relacionando porcentualmente los vehículos aforados en la hora de máxima demanda encontramos un 39,47% de motocicletas, 43,79% de vehículos

particulares, 14,72% de taxis, 1,32 de buses y un 0,69% de camiones, lo cual deja en evidencia el elevado número de motocicletas en la ciudad por lo cual surge la necesidad de implementar políticas de tránsito como la utilización de carril exclusivo y/o restricciones de pico y placa en las vías principales del área metropolitana.

Para realizar la equivalencia de vehículos mixtos a livianos, se toman los factores dados por el HCM-2000 (Tabla 23.8) [2] , Entendiéndose por vehículos mixtos los automotores que fueron aforados para esta investigación, tales como camiones y buses con factor de equivalencia de 1,5 vehículos livianos, taxis y vehículos particulares con factor de 1,0 vehículos livianos.

Realizando la equivalencia se obtuvo un VHMD en términos de vehículos livianos, que para el primer tramo tiene un valor de 5.770 vehículos livianos por sentido.

Otro factor determinante para el cálculo del nivel de servicio es el factor horario de máxima demanda (FHMD), el cual depende del resultado obtenido del VHMD y del volumen máximo obtenido en el transcurso de 15 minutos ($Q_{15 \text{ máx}}$) que para este caso es de 1.456 vehículos mixtos. De acuerdo a la ecuación (6) [1]

$$FMHD = \frac{VHMD}{4 * (Q_{15 \text{ máx}})} \quad (6)$$

Dicho factor para este primer tramo es de 0,98. La Tasa de Flujo (V_p) refleja la variación del flujo vehicular dentro de la hora de máxima demanda, la influencia de vehículos pesados y las características de la población de conductores, esto para tener una tasa de flujo expresada en vehículos livianos por sentido. La tasa de flujo se da mediante ecuación (7). [1]

$$V_p = \frac{V}{(FHMD)(N)(F_{hv})(F_p)} \quad (7)$$

Donde V representa el volumen horario por sentido en vehículos mixtos por hora, F_p es un factor de ajuste dependiente de las características de la población de conductores o usuarios. Los valores de F_p varían de 0,85 a 1,00 que dependen principalmente del estado de ánimo en el que se encuentre el usuario. En esta investigación se toma el valor que caracteriza usuarios con condiciones normales, para lo cual F_p es igual a 1,0; aunque según el entorno de movilidad del área metropolitana, este valor podría disminuir por la ocurrencia de trancones y diversos factores que podrían influenciar en el estado de ánimo del usuario de la vía.

N , es el número de carriles de la vía por sentido, en este caso se toma como 3 haciendo referencia al hecho que uno de estos carriles es exclusivo del Sistema Integrado de transporte masivo (Metrolínea), el cual descongestiona un porcentaje importante de usuarios de esta vía.

F_{hv} , es un factor de ajuste por presencia de vehículos pesados el cual se calcula con la ecuación (8). [1]

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (8)$$

Donde P_T es el porcentaje de camiones en la corriente vehicular, P_B el porcentaje de autobuses en la corriente vehicular, P_R porcentaje de vehículos recreativos en la corriente vehicular, E_T , E_B , E_R , son las equivalencias de los automóviles que representan cada tipo de vehículo mencionado anteriormente, este factor se observa en la tabla 7.

Tabla 6. Factores de equivalencia de automóviles

Tabla 23-8 Equivalencias de Carros en Segmentos de Autopista

Factor	Tipo de Terreno		
	Plano	Ondulado	Montañoso
E_t (Camiones y buses)	1.5	2.5	4.5
E_R (Vehículos recreativos)	1.2	2.0	4.0

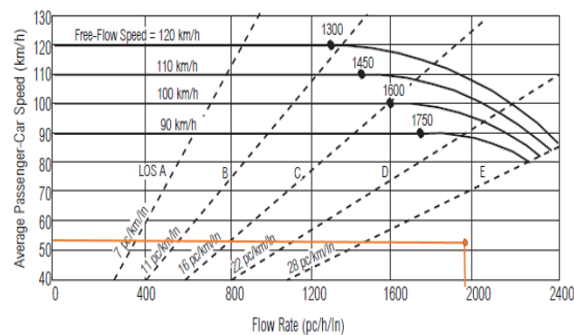
Fuente: Highway capacity manual

Teniendo en cuenta que los valores de P_R y E_R son nulos por la ausencia de vehículos recreativos, se calcula el valor de F_{hv} como 0,99 y así posibilitar el cálculo de V_p que para el primer tramo es de 1.966 vehículos livianos por hora por carril.

Con los factores calculados con anterioridad, se determinó el nivel de servicio del primer tramo de acuerdo a la figura 7, la cual corresponde a la curva de velocidad - flujo, donde en el eje de las abscisas entramos con el valor de V_p y en el eje de las ordenadas con la velocidad media calculada para el primer tramo.

La velocidad media se determinó en campo mediante velocidades de punto, donde $P_{15}= 45,5$ km/h, $P_{50}=53$ km/h, $P_{85}=65$ km/h y $P_{98}=77$ km/h, en este caso la velocidad media hallada para el primer tramo fue de 54,29 Km/h la cual se aproxima al valor del percentil 50.

Figura 7. Determinación del nivel de servicio, tramo 1



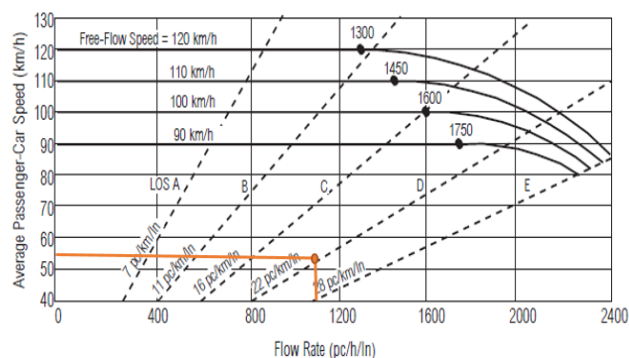
Fuente: Highway capacity Manual

De acuerdo a la figura 7 se determinó que el nivel de servicio para el primer tramo es calificado como F, lo cual evidencia las malas condiciones de movilidad presentes en el mismo, y las falencias en infraestructura física que tiene esta denominada autopista. Resaltando que el alto crecimiento poblacional y del parque automotor en el área metropolitana y la falta de políticas en movilidad, aumentan la mala impresión de los usuarios para con esta importante vía del área metropolitana de Bucaramanga.

Para mejorar las condiciones de movilidad, se puede hacer inversiones en infraestructura como la implementación de nuevos carriles que descongestionen esta vía. Al incrementar el número de carriles por sentido, la velocidad en la cual transitan los vehículos podría incrementar gradualmente, mejorando la percepción de los usuarios y así mismo el nivel de servicio.

Para llegar a un nivel de servicio aceptable entre C y D, debería incrementarse el número de carriles a cinco por cada sentido, esto disminuiría la tasa de flujo a 1.179 vehículos livianos/hora/carril y aumentaría la velocidad para este tramo, por lo cual tendríamos un nivel de servicio D como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Determinación del nivel de servicio aceptable, tramo 1

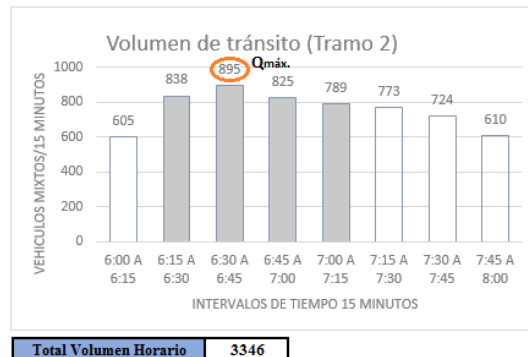


Fuente: Highway capacity Manual

Para determinar el nivel de servicio en los dos tramos restantes se sigue el mismo procedimiento anterior y, teniendo en cuenta que las características de los conductores y del entorno de movilidad son las mismas, se puede afirmar que los valores calculados para el tramo inicial pueden ser tomados en cuenta para estos tramos. Los factores de equivalencia y el factor de conductor F_p siguen siendo los mismos, pero la velocidad media y el conteo de los vehículos es diferente para cada tramo.

Para el segundo tramo también se calcularon las velocidades de punto, las cuales corresponden a los percentiles: $P_{15}= 47,5$ km/h, $P_{50}=53,7$ km/h, $P_{85}= 61$ km/h y $P_{98}=68.1$ km/h, para este segundo tramo la velocidad media hallada corresponde a 54,31 Km/h, que es aproximadamente la del percentil 50. Por otra parte el valor de la hora de máxima demanda es de 3.346 vehículos mixtos por hora por sentido como se observa en la figura 9, mientras que el valor de los quince minutos más cargados ($Q_{15máx}$) es de 895 vehículos mixtos por sentido.

Figura 9. Características del volumen de tránsito, tramo 2

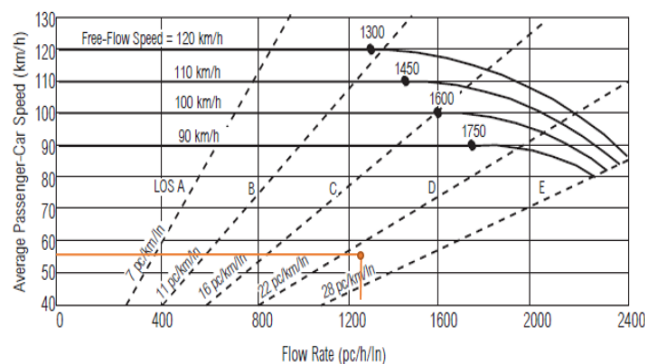


Así mismo se calculó la tasa de flujo de acuerdo al factor horario de máxima demanda (FHMD), el cual es 0,94 y se tomaron los mismos tres carriles por sentido del tramo anterior, con lo que se determinó una tasa de flujo de 1.257 automóviles/hora/carril.

En la figura 10 se observa la relación de la velocidad media con respecto a la tasa de flujo calculada, en donde se puede apreciar que el nivel de servicio para este segundo tramo se determinó como E, indicando una pequeña mejora respecto al tramo anterior.

El indicativo E es el resultado de una vía con menor cantidad de vehículos respecto al tramo anterior, lo cual contribuye para reducir tiempos de viaje y debido al bajo número de intercciones con vías secundarias, son pocos los obstáculos que deben sortear los conductores.

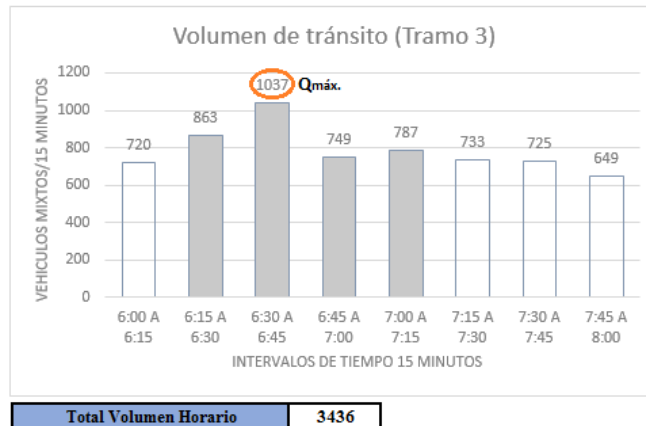
Figura 10. Determinación del nivel de servicio, tramo 2



Fuente: Highway capacity Manual

Finalmente para el tercer tramo se tiene un valor de hora de máxima demanda de 3.436 vehículos mixtos por hora por sentido y un valor de $Q_{\text{máx.}}$ de 1.037 vehículos mixtos por hora por sentido. En la figura 11 se observa estos resultados.

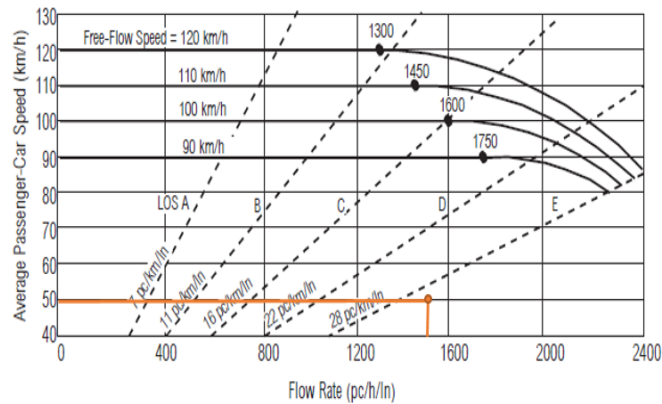
Figura 11. Características del volumen de tránsito, tramo 3



De acuerdo a las consideraciones anteriores y con las velocidades de punto halladas las cuales tienen un valor de $P_{15}= 40,3$ km/h, $P_{50}=50,0$ km/h, $P_{85}=60,0$ km/h y $P_{98}=67,5$ km/h se encontró que la velocidad media es aproximadamente de 50,50 Km/h, igualmente se determinó el FHMD con valor de 0,83 y una tasa de flujo para este tramo de 1.481 automóviles por hora por carril, tomando en cuenta los mismos tres carriles, con la aclaración que uno de estos es exclusivo para el sistema Metrolínea.

Se determinó el nivel de servicio de acuerdo a la figura 12, el cual indica una denominación F, coherente a las bajas velocidades presentadas en este tramo. En el trabajo de campo se observó que en este tramo de vía se genera un represamiento constante cerca a las intersecciones, disminución de velocidad debido a que en el mismo se observa un porcentaje considerable de vehículos pesados y a que los buses colectivos convencionales realizan sus paradas en lugares no autorizados, obstaculizando casi en su totalidad un carril completo.

Figura 12. Determinación del nivel de servicio, tramo 2

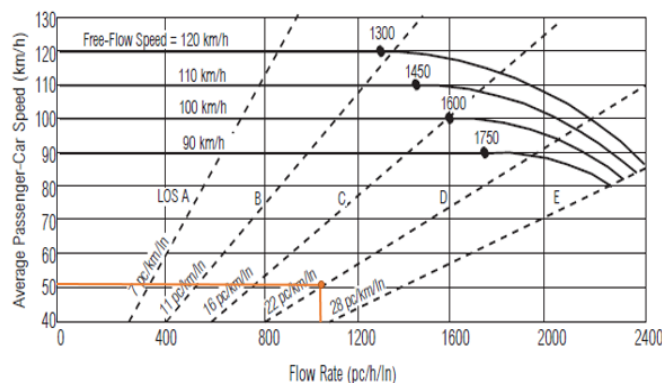


Fuente: Highway capacity Manual

Para aumentar la percepción de los usuarios de esta vía, una alternativa sería la inversión para la construcción de un carril adicional, ya que disminuiría la tasa de flujo hasta un valor de 1.111 vehículos livianos/hora/carril lo cual generaría aumento en la velocidad media y en consecuencia un nivel de servicio más favorable como lo es D como lo indica la figura 13.

En el anexo 2 de este documento se muestran los perfiles viales recomendados para cada uno de los tramos seleccionados.

Figura 13. Determinación del nivel de servicio aceptable, tramo 3



Fuente: Highway capacity Manual

Cabe resaltar que el incremento de carriles no es la única alternativa para mejorar las condiciones de movilidad y la opinión de los usuarios respecto a una vía. Una política de movilidad objetiva y bien ejecutada aportaría al mejoramiento de las condiciones de los usuarios que ocupan esta arteria principal del área metropolitana de Bucaramanga.

Otro aspecto clave es el mejoramiento de la infraestructura respecto a las intersecciones con vías secundarias, ya que por falta de carriles de desaceleración, los vehículos deben frenar casi en su totalidad para realizar los giros, esto disminuye la velocidad tanto del que sale de la vía como del que sigue este camino y por consiguiente la desfavorece el calificativo del nivel de servicio.

5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA AUTOPISTA

Las vías de circulación denominadas autopistas están especialmente concebidas y construidas para la circulación de automóviles y a ellas no tienen accesos las fincas colindantes. Toda autopista ha de constar de distintas calzadas para cada sentido de circulación (salvo en puntos singulares o con carácter temporal), que han de estar separadas por una franja de terreno denominada mediana o (en casos excepcionales) por otros medios. Además no debe cruzarla a nivel ninguna otra vía ni línea de ferrocarril o de tranvía y ha de estar señalizada especialmente como autopista. Seguidamente se irán describiendo las características por las que se rigen las principales autopistas, con las diferencias de distribución existentes. [8]

Otro factor importante a tener en cuenta son las buenas condiciones climáticas y presunción del pavimento en buen estado.

En general las autopistas deben tener las siguientes características base:

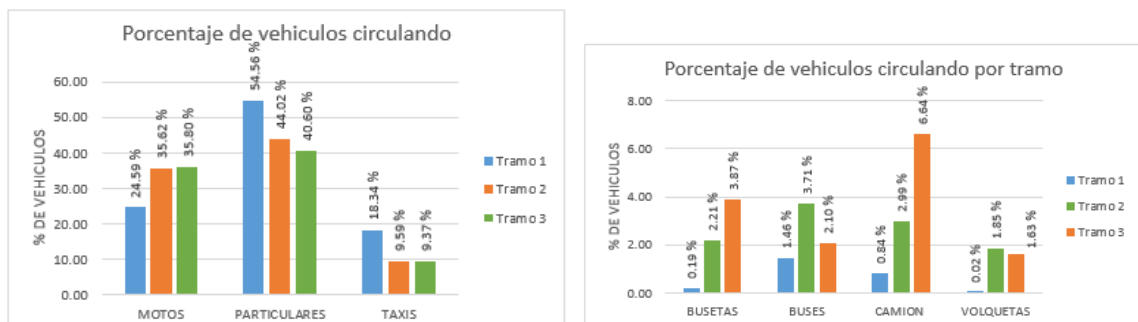
- Carriles con anchura mínima de 3.6 metros. [1]
- Mínima distancia libre lateral de 1.8 metros en el acotamiento derecho, entre el borde de la calzada y el obstáculo u objeto más cercano que influye en la conducta del tráfico. [1]
- Mínima distancia libre lateral en la faja separadora central de 0.6 metros. [1]
- Todos los vehículos de la corriente de tránsito son vehículos livianos. [1]
- En áreas urbanas, la autopista deberá tener 5 o más carriles por sentido. [1]
- Espaciamiento entre intercambiadores cada 3 Kilómetros o más. [1]
- Terreno plano con pendientes inferiores al 2%. [1]
- Población de conductores compuesta principalmente de usuarios regulares familiarizados con la autopista. [1]
- Velocidad de proyecto no inferior a 110 Km/h. [1]

- Entradas y salidas con carriles, separados de los principales, de desaceleración y de aceleración para que los vehículos que salen o entran en la autopista cambien su velocidad fuera de él. [1]
- El acceso a los inmuebles colindantes con la autopista no se realiza directamente desde la misma a menos que se utilicen entradas y salidas descritas. En las zonas urbanas es habitual la existencia de calles paralelas situadas a cada lado denominadas “vías de servicio” o “colectoras” que permiten el acceso a los inmuebles que limitan con la autopista sin perturbar el tránsito de la misma. [1]
- Terreno llano y rasante horizontal.[1]

Una vía se suele diseñar para los niveles de servicio C o D con la finalidad de tener una condición aceptable en relación a capacidad, volumen, densidad y movilidad en general.

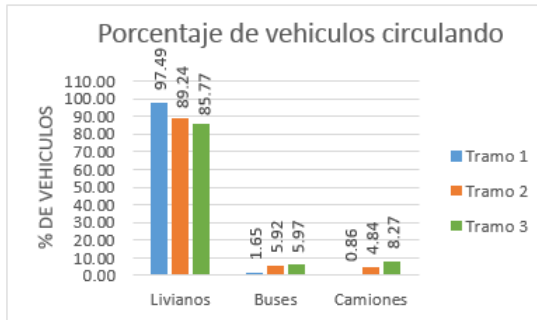
La figura 14 representa el porcentaje de vehículos que circulan en cada uno de los tramos en estudio, donde se evidencia que aunque el porcentaje de vehículos pesados no es significativo estos están presentes en la corriente vehicular, y a su vez aumentan de acuerdo al orden de los tramos, afectando directamente la movilidad del sector.

Figura 14. Porcentaje de cada tipo de vehículo circulando en cada tramo



En la figura 15 se muestra los resultados de los tipos de vehículos que se requieren para los cálculos.

Figura 15. Porcentaje de vehículos para cálculos circulando en cada tramo



En relación al número de carriles se observó que en el tramo hay tres, de los cuales dos están destinados a tráfico mixto y uno es exclusivo del sistema integrado de transporte masivo Metrolínea, aclarando que por éste último en ciertos sectores se moviliza una parte del flujo vehicular, con lo que comparando esto con las condiciones base o ideales se evidencia que no se cuenta con el número de carriles para garantizar una movilidad apropiada en el sistema vial.

6. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA EN CUANTO AL PERFIL VIAL

Las características geométricas de la vía se analizaron mediante la medición en campo de anchos de carril, bermas, andenes, separador central y número de carriles en varios puntos, a lo largo de la vía obteniendo las características relacionadas en la tabla 8.

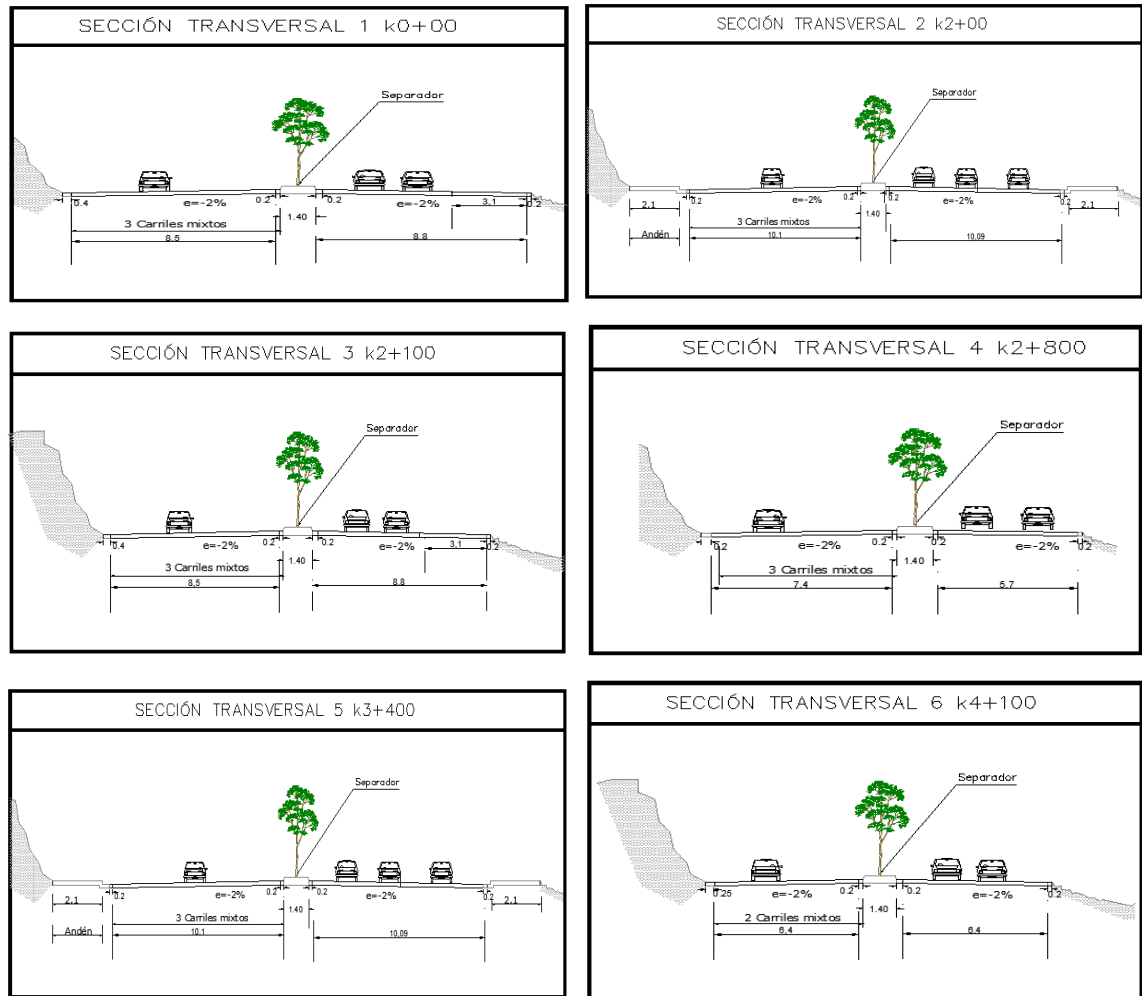
Aclarando que el único valor no determinado en campo corresponde a las pendientes las cuales fueron tomadas de los diseños suministrados por el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), y que el punto de inicio para esta investigación denominado K0+0.00 fue tomado en el Puente de Provenza (Bucaramanga).

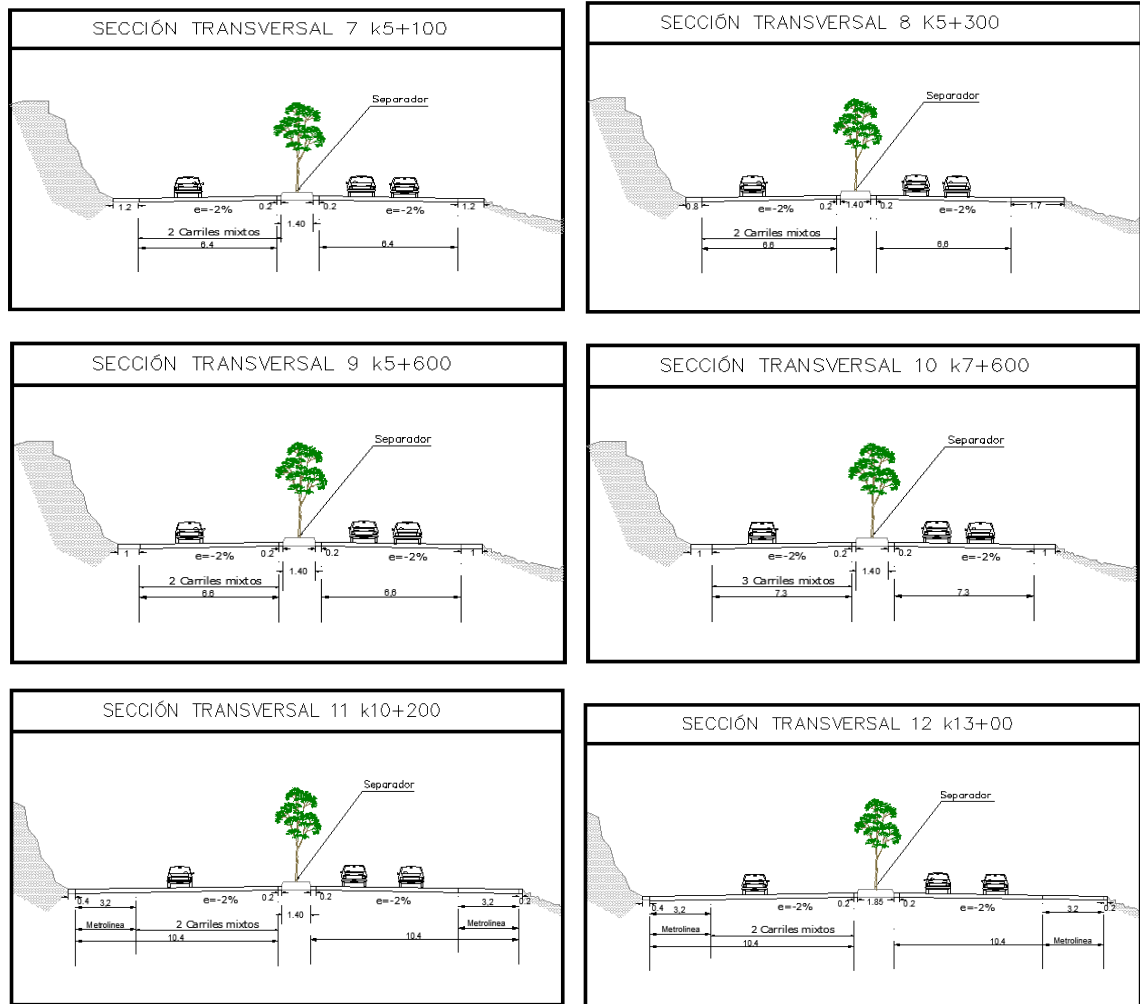
Tabla 7. Principales características de la vía analizada

Tramo	Provenza(Bucaramanga)-San Francisco(Piedecuesta)
Longitud del Tramo	12,9 Km
Tipo de Terreno	Plano
N° de Calzadas	Dos calzadas en todo el tramo; una en cada dirección
N° de Carriles	Dos y tres carriles por calzada
Sentido de Tránsito	Bidireccional
Pendiente longitudinal	Varía entre el 1% y el 7%
Ancho de Calzada	Varía entre 6,4 m a 10,1m
Ancho de carril	Varía entre 2,4 m a 3,5 m
Berma	Ausente en la mayoría del tramo
Separador promedio	1,4 m
Anden Promedio	Ausente en la mayoría del tramo

Así mismo se realizó una inspección en campo para analizar las deficiencias geométricas que se presentan en el tramo, para ello se midieron las dimensiones de la vía en diferentes puntos donde se observaban cambios representativos y se dibujaron las diferentes secciones transversales como se especifica en la figura 16.

Figura 16. Secciones transversales del tramo vial en estudio





Realizando la respectiva comparación de las secciones transversales con las condiciones ideales se observó lo siguiente:

- El ancho de carril presente en el tramo en estudio es 3,1 m en promedio, lo que evidencia que no cumple con el ancho mínimo ya que éste debería ser de 3,6 m; lo que posiblemente puede reducir la capacidad de maniobra de los conductores, y convertirse en posibles causas de accidentes de tránsito.
- El ancho mínimo de la berma externa debería ser de 1,80 m, pero en la mayor parte de la vía no hay berma y en las pocas partes donde si hay se encuentran anchos variables entre 0,20 y 1,70 m. La distancia de berma interna en

condiciones ideales es de 0,60 m, pero en campo esta distancia no pasa de 0,2 m; con lo que se evidencia que en cuanto a las dimensiones de la berma este tramo no cuenta con un espacio adecuado que permita realizar detenciones eventuales de los vehículos lo que puede constituirse en un riesgo para la seguridad vial tanto para los conductores como para los peatones que por ahí transitan.

- En cuanto a la presencia de intercambiadores se observó que hay 5 en todo el recorrido, lo que quiere decir que cada uno se encuentra localizado aproximadamente cada 2,6 Km indicando que éstos no cumplen con la separación mínima la cual debería ser de 3,0 m o más.

7. MOVILIDAD Y CAPACIDAD DE TRÁNSITO

Una corriente de tránsito dentro de un sistema vial, funciona bien cuando la magnitud del flujo, circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema; en este mismo sentido se sabe que cuando los valores de los flujos vehiculares están muy próximos a los de la capacidad, el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente dando lugar a niveles de servicio bajos lo que se traduce en densidades altas y velocidades de operación bajas. [1]

Para determinar la capacidad del sistema vial, se realizó un análisis de las características geométricas y del flujo vehicular en las horas de máxima demanda, donde se determinó que los niveles de servicio existentes en la vía son nivel de servicio F para el primer y último tramo en estudio; y para el tramo intermedio se determinó un nivel E, como se indica en la tabla 9:

Tabla 8. Velocidad tomada en campo y niveles de servicio para cada tramo analizado

Tramo	Velocidad media tomada en campo	Nivel de servicio calculado
Tramo 1	54,29 Km/h	F
Tramo 2	54,31 Km/h	E
Tramo 3	50,5 Km/h	F

Donde dichos resultados indican que el sistema vial está en el límite de su capacidad, debido al bajo nivel de servicio determinado, esta situación se produce porque el tránsito excede la máxima cantidad que puede pasar por cada punto, donde la operación se caracteriza principalmente por ondas de parada y arranque

inestables, dando lugar a colapsos del tránsito y a bajas velocidades medias a flujo libre de los vehículos, que comparadas con la velocidad proyectada inicialmente en el diseño (80Km/h), y con la esperada para una autopista (110 Km/h) representan la causa de diversos factores que afectan directamente la movilidad , siendo éstos factores aumento en la congestión vehicular, demoras en los tiempos de viaje, bajos niveles de servicio, y con esto generando una mala percepción de los usuarios hacia el sistema.

Tabla 9. Velocidad tomada en campo y niveles de servicio para cada tramo analizado

Tramo	Velocidad de operación	Nivel de servicio con vel. De operación
Tramo 1	65 Km/h	F
Tramo 2	61 Km/h	D
Tramo 3	60 Km/h	E

En la tabla 10 se observan las velocidades de operación, determinadas mediante el estudio de velocidades de punto las cuales representan el percentil 85, para los tres tramos seleccionados, lo cual quiere decir que si los vehículos transitan con esta velocidad, los niveles de servicio mejoran notoriamente en los tramos dos y tres.

Cualquier condición prevaleciente (real) que difiera de la condición base, ocasiona reducciones en la capacidad y los niveles de servicio, situación que se vio reflejada en el presente estudio, dado que actualmente en el sistema se presentan: carriles muy estrechos en relación a las características geométricas ideales, no hay bermas y aceras en la mayor parte del tramo, hay presencia de vehículos pesados transitando el sector, y esto sumado a la falta de control por parte de los organismos de tránsito, puede convertirse en amenazas para la

seguridad vial de los peatones que circulan por la vía, generándose con esto posibles pérdidas de vidas y pérdidas económicas.

Del mismo modo el análisis se efectuó teniendo en cuenta la velocidad de diseño proyectada para la vía, y las condiciones de flujo vehicular determinadas en campo, con el fin de realizar un comparativo entre estas variaciones, hallando los resultados consignados en la tabla 11.

Tabla 10. Velocidad de diseño, de campo y niveles de servicio para cada tramo analizado

Tramo	Vel. de diseño de la vía	N. de servicio esperado (Vel. Diseño)	Vel. media tomada en campo	Nivel de servicio calculado
Tramo 1	80 Km/h	E	54.24 Km/h	F
Tramo 2		C	54.31 Km/h	E
Tramo 3		D	50.5 Km/h	F

Como se puede observar en la tabla 11, si se llegase a cumplir la velocidad de diseño, en el primer tramo el nivel de servicio no sería óptimo para garantizar las condiciones de movilidad adecuadas, dado que se tiene un nivel de servicio E para dicho sector, lo que indica que es necesaria la implementación de un carril más para que la vialidad funcione teniendo en cuenta ésta velocidad, que cómo se demostró en el presente proyecto no se cumple.

Según el análisis realizado es evidente que para ninguno de los 3 puntos del tramo analizado se cumple con las características básicas que debería tener el sistema para ser denominado autopista, por lo que la denominación que se tiene para la vía no es adecuada.

8. CONCLUSIONES

- El volumen de tránsito para el tramo comprendido entre el puente de Provenza (Bucaramanga) y el primer retorno “La Turena” (Floridablanca) calculado en aproximadamente 65.994 vehículos diarios por sentido, el cual ha incrementado 1,86% en promedio para los últimos años, muestra evidente de la ampliación del parque automotor del AMB.
- La ampliación del parque automotor de Floridablanca y Piedecuesta con un 3,28%, ha sido más significativa que la de Bucaramanga con 1,86% en promedio, evidencia del crecimiento acelerado en cuanto a población e industria en estas dos ciudades.
- El volumen de tránsito proyectado para el año 2016 en el tramo dos comprendido entre el retorno “La Turena” (Floridablanca) hasta la estación de Metrolínea “La Española” y el tramo tres entre “La Española” y San Francisco (Piedecuesta) tienen valores aproximados de 47.240 y 48.513 vehículos diarios por sentido respectivamente, mostrando un incremento anual promedio de 3,28% para estos tramos.
- El resultado de la hora de máxima demanda para el primer tramo fue calculado en 5.698 vehículos mixtos por hora por sentido, resaltando que el total de automotores aforados fue de 7.099, pero debido a que las motocicletas no se encuentran en las fórmulas para el cálculo del volumen de tránsito, éstas fueron llevadas a su equivalencia de vehículo mixto, siendo ésta de 0,5 vehículos por cada motocicleta.

- De los automotores aforados para el primer tramo se encontró un 39,47% de motocicletas y un 43,79% de vehículos particulares, siendo estos los que más transitan por este tramo, por lo cual surge la necesidad de implementar políticas de tránsito como la utilización de carril exclusivo para motocicletas y/o restricciones de pico y placa en las vías principales del área metropolitana para estos dos tipos de medio de transporte.
- El nivel de servicio para el primer tramo es calificado como F, lo cual evidencia las malas condiciones de movilidad e infraestructura que tiene esta denominada autopista. El alto crecimiento poblacional y del parque automotor, sumado a la falta de políticas en movilidad, favorecen a la mala impresión de los usuarios para con esta vía.
- Una opción para mejorar las condiciones de movilidad en esta arteria vial del AMB, es la inversión en infraestructura física, como la construcción de nuevos carriles que descongestionen esta vía e incrementen gradualmente la velocidad en la misma, generando mejor percepción por parte de los usuarios.
- Aunque las velocidades calculadas para los dos primeros tramos son similares, el flujo vehicular en el segundo es menor, y debido al bajo número de intercciones con vías secundarias, se determina un nivel de servicio E indicando una mejora con respecto al tramo anterior.
- La velocidad calculada para el tercer tramo es de 50,50 Km/h, inferior a la calculadas para los otros tramos, y coherente a lo observado en campo respecto a represamientos cerca a las intersecciones por buses colectivos convencionales.

- El nivel de servicio calculado para el tercer tramo es F de acuerdo a la baja velocidad, alto volumen de tránsito, la cantidad de vehículos pesados y falta de políticas en movilidad.
- Se analizó que si los vehículos transitan con las velocidades de operación las cuales pertenecen al percentil 85, los niveles de servicio mejoran notoriamente en los tramos dos y tres, siendo estos F, D y E, respectivamente para cada uno de los tramos.
- La construcción de carriles adicionales a los existentes no es la única alternativa para mejorar la percepción de los usuarios para esta vía, la implementación de políticas de movilidad y la adecuación de carriles de aceleración y desaceleración en intersecciones con vías secundarias, favorecen a una mejor movilidad en el AMB.
- Se determinó que el número de carriles existente en el tramo estudiado es menor que lo esperado para una autopista, lo que directamente ha generado que el sistema se encuentre saturado superando su máxima capacidad, lo que se ha convertido en una de las principales causas de grandes congestiones vehiculares, bajas velocidades de circulación, demoras en los tiempos de viaje y principalmente bajos niveles de servicio.
- Dado que las características geométricas (ancho de carril, ancho de berma, andenes, separador central) existentes en el sector analizado no cumplen con las dimensiones mínimas con las que debería contar una autopista, se puede decir que éste sistema no debería ser considerado como autopista.
- Se evidenció que debido al alto grado de congestión, el sistema actualmente presenta bajas velocidades de circulación, las cuales no cumplen con lo estipulado en el diseño inicial ni con lo esperado para una autopista.

- Determinando el nivel de servicio en base a la suposición de que la velocidad de circulación sea la velocidad de diseño (80 Km/h) se evidenció que si ésta se cumpliera el nivel de servicio del sistema mejoraría en los tramos 2 y 3, mientras que en el tramo 1 aún con ésta velocidad el sistema estaría congestionado.
- Las condiciones actuales de la vía en relación a sus características geométricas, velocidad de operación y número de carriles, representan un riesgo para la seguridad vial de los usuarios que utilizan el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cal y Mayor R & Cardenas J; Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones; 8ª Edición. Alfaomega Grupo Editorial, S.A; México, D.F. 2007.
- [2] Transportation Research Board, Highway Capacity Manual. National Research Council, Washington, D.C. 2000
- [3] Yarce Marín Yuli Gabriela; Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas, Aplicación en la ciudad de Medellín, Tesis (Magíster); Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2015.
- [4] Volúmenes de Tránsito, Universidad Nacional Sede Regional del Norte “slideshare.net” Disponible en <http://es.slideshare.net/sjnavarro/volmenes-de-transito> [citado en 2016-07-01]
- [5] Diseño Geométrico de vías ajustado al Manual Colombiano, Universidad Nacional de Colombia “es.slideshare.net” Disponible en: http://es.slideshare.net/rafa_praes/disec3b1o-geomc3a9tricodevc3adasjohnjairoagudelo [citado en 2016-07-08]
- [6] Capacidad y Niveles de Servicio de la Infraestructura Vial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), “es.scribd.com” Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/131504376/Manual-de-Capacidad-y-Niveles-de-Servicio-Para-Carreteras-de-2-Carriles> [Citado en 2016-07-08]
- [7] Significado de Vehículo Recreacional, Diccionario Internacional “diccionario-internacional.com” Disponible en: <http://diccionario-internacional.com>

internacional.com/definitions/?spanish_word=recreational_vehicle [Citado en 2016-07-08]

[8] Avenidas y Autopistas, Características principales entre las avenidas y las autopistas, “avenidasautopistascivilunet.wordpress.com”, Disponible en: <https://avenidasautopistascivilunet.wordpress.com/2015/04/15/caracteristicas-principales-entre-las-avenidas-y-autopistas/> [Citado en 2016-07-10]

BIBLIOGRAFÍA

AVENIDAS Y AUTOPISTAS, Características principales entre las avenidas y las autopistas, Disponible en: <https://avenidasautopistascivilunet.wordpress.com/2015/04/15/caracteristicas-principales-entre-las-avenidas-y-autopistas/> [Citado en 2016-07-10]

CAL Y MAYOR R & CARDENAS J; Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones; 8ª Edición. Alfaomega Grupo Editorial, S.A; México, D.F. 2007.

DICCIONARIO-INTERNACIONAL Significado de Vehículo Recreacional, Diccionario Internacional Disponible en: http://diccionario-internacional.com/definitions/?spanish_word=recreational_vehicle [Citado en 2016-07-08]

SCRIBD Capacidad y Niveles de Servicio de la Infraestructura Vial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/131504376/> Manual-de-Capacidad-y-Niveles-de-Servicio-Para-Carreteras-de-2-Carriles [Citado en 2016-07-08]

SLIDE SHARE Diseño Geométrico de vías ajustado al Manual Colombiano, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: http://es.slideshare.net/rafa_praes/disec3b1o-geomc3a9tricodevc3adasjohnjairoagudelo [citado en 2016-07-08]

SLIDE SHARE Volúmenes de Tránsito, Universidad Nacional Sede Regional del Norte. Disponible en <http://es.slideshare.net/sjnavarro/volmenes-de-transito> [citado en 2016-07-01]

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual. National Research Council, Washington, D.C. 2000

YARCE MARÍN Yuli Gabriela; Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas, Aplicación en la ciudad de Medellín, Tesis (Magíster); Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2015.

ANEXOS

Anexo A. Volúmenes de tránsito hallados en campo

		FORMATO DE HORA PICO					
Fecha:	20/05/16	Hora inicio:	17:30	Localización	Tramo 1	Hoja:	
Día	Viernes	Hora Final:	19:30			De:	
HORA	MOTOS	PARTICULARES	TAXIS	BUSETAS	BUSES	CAMION	VOLQUETAS
5:30 A 5:45	695	693	265	5	36	16	
5:45 A 6:00	783	764	236	4	18	16	
6:00 A 6:15	757	620	245	8	23	9	
6:15 A 6:30	838	683	265	4	20	13	
6:30 A 6:45	805	703	281	4	22	16	
6:45 A 7:00	700	805	268	3	20	9	1
7:00 A 7:15	697	791	215	3	25	8	
7:15 A 7:30	600	810	281	1	16	15	
TOTALES	5875	5869	2056	32	180	102	1

		FORMATO DE HORA PICO					
Fecha:	18/05/2016	Hora inicio:	06:00 a.m.	Localización	Tramo 2	Hoja:	
Día	Miercoles	Hora Final:	08:00 a.m.			De:	
HORA	MOTOS	PARTICULARES	TAXIS	BUSETAS	BUSES	CAMION	VOLQUETAS
6:00 A 6:15	436	232	86	2	20	35	12
6:15 A 6:30	624	362	95	5	27	25	12
6:30 A 6:45	681	386	82	17	29	23	17
6:45 A 7:00	601	368	65	29	32	19	11
7:00 A 7:15	478	357	79	23	36	33	22
7:15 A 7:30	566	338	63	17	25	30	17
7:30 A 7:45	501	312	58	15	31	39	18
7:45 A 8:00	309	320	46	9	27	33	20
TOTALES	4196	2675	574	117	227	237	129



FORMATO DE HORA PICO



Fecha:	18/05/2016	Hora inicio:	06:00 a. m.	Localización	Tramo 3	Hoja:	
Dia	Miercoles	Hora Final:	08:00 a. m.			De:	
HORA	MOTOS	PART	TAXIS	BUSETAS	BUSES	CAMION	VOLQUE TAS
6:00 A 6:15	445	279	76	36	21	71	14
6:15 A 6:30	634	311	103	33	21	67	11
6:30 A 6:45	802	420	83	42	23	55	13
6:45 A 7:00	512	309	67	38	10	52	17
7:00 A 7:15	512	355	69	20	18	54	15
7:15 A 7:30	355	402	43	28	18	52	12
7:30 A 7:45	408	332	54	22	18	68	27
7:45 A 8:00	318	315	49	20	19	65	22
TOTALES	3986	2723	544	239	148	484	131

Anexo B: Perfiles viales recomendados

