

ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE
SERVICIO DE LA AUTOPISTA BUCARAMANGA-PIEDRECUESTA USANDO LOS
MÉTODOS HCM 1994, HCM 2000 Y HCM 2010, MEDIANTE EL DIAGNÓSTICO
HISTÓRICO DE TRES TRAMOS VIALES

LINDA STHEFANNY RANGEL ORJUELA
YESIKA TATIANA VESGA VELANDIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2020

ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE
SERVICIO DE LA AUTOPISTA BUCARAMANGA-PIEDRECUESTA USANDO LOS
MÉTODOS HCM 1994, HCM 2000 Y HCM 2010, MEDIANTE EL DIAGNÓSTICO
HISTÓRICO DE TRES TRAMOS VIALES

LINDA STHEFANNY RANGEL ORJUELA
YESIKA TATIANA VESGA VELANDIA

Trabajo de grado para optar título de Ingeniera Civil

Director:

Luis David Arévalo Durán

Especialista en Administración de Empresas

Especialista en Ingeniería de Tránsito

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios, porque me guió durante el camino e hizo posible que llegara a este momento en el cual culmino mi carrera profesional de manera exitosa.

A mis padres, por cada uno de los sacrificios, apoyo incondicional y por la confianza que pusieron en mí para el logro de esta gran meta en mi vida.

A mis hermanos, por acompañarme, creer en mí y motivarme a continuar en aquellos momentos difíciles.

A mis compañeros, amigos y todas aquellas personas que aportaron de una u otra manera, con las que compartí y las cuales me ofrecieron su ayuda y respaldo durante este proceso.

Yesika Tatiana Vesga Velandia

A mi madre y mi abuela por la paciencia, amor y esfuerzos que en su momento hicieron para apoyarme.

A mi abuelo quien fue mi padre, por siempre estar ahí para mí e inculcarme esa constancia, disciplina y dedicación hacia la vida y ese amor que sentía por la UIS.

A la selección de fútbol sala femenino, por darme los mejores momentos que viví en esta etapa y por ser una segunda familia durante mi estancia en la Universidad.

A amigos, profesores y compañeros que me apoyaron y ayudaron ya fuese con situaciones académicas o personales durante este inolvidable ciclo.

Linda Sthefanny Rangel Orjuela

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de proyecto Luis David Arévalo por su orientación en el desarrollo de este proyecto.

A todos aquellos profesores, amigos y compañeros que hicieron parte de este proceso de una u otra forma.

Linda Sthefanny Rangel Orjuela y Yesika Tatiana Vesga Velandia

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. MARCO REFERENCIAL	15
2.1 CAPACIDAD VIAL	15
2.2 NIVEL DE SERVICIO	16
2.2.1 Nivel de servicio A.	17
2.2.2 Nivel de servicio B.	17
2.2.3 Nivel de servicio C.	17
2.2.4 Nivel de servicio D.	17
2.2.5 Nivel de servicio E.	18
2.2.6 Nivel de servicio F.	18
2.3 VOLUMEN DE TRÁNSITO	18
2.4 CONGESTIÓN	18
2.5 CONDICIONES DE TRÁNSITO	19
2.6 DEMANDA	19
2.7 VELOCIDAD A FLUJO LIBRE	19
2.8 AUTOPISTAS (AP)	19
2.9 ANTECEDENTES	20
2.10 ESTADO DEL ARTE Y DEL CONOCIMIENTO	20
2.11 SITUACIÓN ACTUAL	20
3. METODOLOGÍA	21

4.	DESARROLLO.....	22
4.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PRECEDENTES DEL PROYECTO.....	22
4.2	REVISIÓN DE DATOS DE LOS TRES TRAMOS PREVIAMENTE IDENTIFICADOS	22
4.2.1	Identificación del sector de la autopista a analizar.....	22
4.2.2	Determinación de los tramos del sector de la autopista a analizar.	23
4.2.2.1	Tramo 1.....	23
4.2.2.2	Tramo 2.....	23
4.2.2.3	Tramo 3.....	24
4.2.3	Caracterización del diseño geométrico del sector de la autopista a analizar.	25
4.3	REVISIÓN DE DATOS DE LOS TRES TRAMOS PREVIAMENTE IDENTIFICADOS	27
4.4	DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO USANDO LOS MÉTODOS ESTABLECIDOS	28
4.4.1	Método HCM 1994.	29
4.4.1.1	Aplicación.....	34
4.4.2	Método HCM 2000.	41
4.4.2.1	Aplicación.....	48
4.4.3	Método HCM 2010.	57
4.4.3.1	Aplicación.....	62
4.4.4	Resultados.	71
5.	CONCLUSIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	75

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Determinación niveles de servicio	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Metodología de investigación	21
Figura 2. Demarcación del tramo 1	23
Figura 3. Demarcación del tramo 2	24
Figura 4. Demarcación del tramo 3	24
Figura 5. Sección transversal típica para el tramo 1	25
Figura 6. Sección transversal típica para el tramo 2	26
Figura 7. Sección transversal típica para el tramo 3	26
Figura 8. Curvas velocidad flujo para segmentos básicos de autopista	46
Figura 9. Determinación de la velocidad media para el tramo 1	49
Figura 10. Determinación de la velocidad media para el tramo 2	52
Figura 11. Determinación de la velocidad media para el tramo 3	55
Figura 12. Curvas velocidad flujo para segmentos básicos de autopista	61
Figura 13. Determinación de la velocidad media para el tramo 1	64
Figura 14. Determinación de la velocidad media para el tramo 2 método HCM 2010	67
Figura 15. Determinación de la velocidad media para el tramo 1	70

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Caracterización del tramo 1	27
Cuadro 2. Caracterización del tramo 2	27
Cuadro 3. Caracterización del tramo 3	28
Cuadro 4. Factores de ajuste por restricciones laterales	30
Cuadro 5. Equivalencia en vehículos ligeros según el tipo de terreno	31
Cuadro 6. Factores de ajuste por tipo de conductor	31
Cuadro 7. Niveles de servicio para tramos básicos de autopistas	33
Cuadro 8. Determinación NDS tramo 1 método HCM 1994	36
Cuadro 9. Determinación NDS tramo 2 método HCM 1994	38
Cuadro 10. Determinación NDS tramo 3 método HCM 1994	41
Cuadro 11. Factores de ajuste por ancho del carril	42
Cuadro 12. Factores de ajuste distancia a obstrucciones laterales	43
Cuadro 13. Factores de ajuste por número de carriles	43
Cuadro 14. Factores de ajuste por densidad de intercambio	44
Cuadro 15. Factores vehículos equivalentes	45
Cuadro 16. Determinación nivel de servicio tramo 1 método HCM 2000	50
Cuadro 17. Determinación nivel de servicio tramo 2 método HCM 2000	53
Cuadro 18. Determinación nivel de servicio tramo 3, método HCM 2000	56
Cuadro 19. Factores de ajuste por ancho de carril	58
Cuadro 20. Factores de ajuste por distancia a obstáculos laterales	59
Cuadro 21. Factores de vehículos equivalentes	59
Cuadro 22. Determinación del nivel de servicio [2]	61
Cuadro 23. Determinación del nivel de servicio tramo 1, método HCM 2010	64
Cuadro 24. Determinación del nivel de servicio tramo 2, método HCM 2010	67
Cuadro 25. Determinación del nivel de servicio tramo 3, método HCM 2010	70
Cuadro 26. Resumen de valores obtenidos por cada método	71

LISTA DE ANEXOS

“Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

ANEXO A. Memorias de cálculo – Comparativa HCM 1994, HCM 2000 y HCM 2010

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE SERVICIO DE LA AUTOPISTA BUCARAMANGA-PIEDECUESTA USANDO LOS MÉTODOS HCM 1994, HCM 2000 Y HCM 2010, MEDIANTE EL DIAGNÓSTICO HISTÓRICO DE TRES TRAMOS VIALES*

AUTOR: LINDA STHEFANNY RANGEL ORJUELA, YESIKA TATIANA VESGA VELANDIA**

PALABRAS CLAVE: AUTOPISTA, CAPACIDAD VIAL, VOLUMEN DE TRÁNSITO, HCM, VELOCIDAD DE FLUJO, NIVEL DE SERVICIO.

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo de grado se expone el procedimiento para el cálculo del nivel de servicio de tres tramos viales de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta implementando la metodología planteada en los manuales de capacidad de carreteras HCM 1994, HCM 2000 y HCM 2010. Posteriormente se realizó un análisis comparativo a partir de los resultados obtenidos empleando cada uno ellos. Para esto se tomaron como punto de partida los datos obtenidos de aforos de volúmenes de tránsito existentes, realizados en estos tres tramos viales en el año 2016, y que hacen parte del proyecto “Caracterización geométrica y de Tránsito del Sistema vial en el tramo comprendido entre Provenza y Piedecuesta en el área metropolitana de Bucaramanga”, además de los datos históricos de tránsito promedio diario semanal recopilados en el lapso 1997 – 2008 para el sector Floridablanca – Bucaramanga y 1997 – 2013 en el sector Piedecuesta – Bucaramanga, que se encuentran contenidos en la cartilla de información de volúmenes de Tránsito del Instituto Nacional de Vías, por lo tanto, es importante resaltar que los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado, corresponden al nivel de servicio ofrecido en el año 2016, por los tres segmentos de la autopista objeto de estudio.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán Especialista en Ingeniería de Tránsito.

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS FOR THE DETERMINATION OF SERVICE LEVELS OF THE BUCARAMANGA-PIEDECUESTA HIGHWAY USING THE HCM 1994, HCM 2000 AND HCM 2010 METHODS, THROUGH THE HISTORICAL DIAGNOSIS OF THREE ROAD SECTIONS*

AUTHOR: LINDA STHEFANNY RANGEL ORJUELA, YESIKA TATIANA VESGA VELANDIA**

KEY WORDS: HIGHWAY, ROAD CAPACITY, TRAFFIC VOLUME, HCM, FLOW SPEED, SERVICE LEVEL.

DESCRIPTION:

In this degree work, the procedure for calculating the level of service of three road sections of the Bucaramanga-Piedecuesta highway is exposed, implementing the methodology proposed in the highway capacity manuals HCM 1994, HCM 2000 and HCM 2010. Subsequently, it was carried out a comparative analysis from the results obtained using each one of them. For this, the data obtained from existing traffic volume gauges, carried out in these three road sections in 2016, and which are part of the project "Geometric and Traffic Characterization of the Road System in the between Provenza and Piedecuesta in the metropolitan area of Bucaramanga ", in addition to the historical data of weekly average daily traffic collected in the period 1997 - 2008 for the Floridablanca - Bucaramanga sector and 1997 - 2013 in the Piedecuesta - Bucaramanga sector, which are found contained in the information booklet of traffic volumes of the National Institute of Roads, therefore it is important to highlight that the results obtained in this degree work correspond to the level of service provided in 2016, by the three segments of the highway under study.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of civil engineering. Director: Luis David Arevalo Duran Specialist in Traffic Engineering.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las comunidades se ve especialmente influenciado por la infraestructura vial con la que cuentan, ya que si ésta se ha diseñado de manera adecuada y por lo tanto funciona en condición óptima y eficiente favorecerá diferentes actividades como el comercio y el transporte, que son fundamentales para el progreso de una población.

La autopista Bucaramanga-Piedecuesta es una vía de gran importancia, ya que es la encargada de comunicar no solamente el municipio de Bucaramanga con los demás municipios pertenecientes al área metropolitana, sino con el país.

Además de esto, es oportuno mencionar que con el paso del tiempo existe un crecimiento demográfico y por ende un aumento en el volumen vehicular que transita por esta zona, por lo que, aunque esta vía se haya construido correctamente, dichos factores afectan negativamente su funcionamiento.

Debido a lo mencionado con antelación es pertinente realizar un estudio de las condiciones actuales de nivel de servicio proporcionado por esta vía, por ello el objetivo de este proyecto es analizar las condiciones de operación del flujo de tránsito y la percepción de los conductores con respecto a esto, de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta mediante el cálculo del nivel de servicio de tres tramos viales pertenecientes a la vía, usando la metodología establecida por los manuales de capacidad de carreteras HCM 1994, HCM 2000 Y HCM 2010 y realizando la respectiva comparativa entre los resultados obtenidos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar comparativamente la valoración de nivel de servicio entre el manual de capacidad de carreteras HCM 1.994, el HCM 2.000 y el HCM 2.010, mediante el diagnóstico de tres tramos viales de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Recopilar datos históricos sobre volúmenes de tránsito en la autopista Bucaramanga-Piedecuesta.

1.2.2 Examinar los niveles de servicio para la autopista Bucaramanga-Piedecuesta por los métodos Highway Capacity manual 1994, 2.000 y 2.010.

1.2.3 Comparar analíticamente los tres métodos de aplicación para el caso de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 CAPACIDAD VIAL

En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura, se considera una cantidad conocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda es su capacidad u oferta.

Aparte del estudio de la capacidad de las carreteras y calles, el propósito que generalmente se sigue es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de arteria.

Teóricamente la capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que puedan pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. ¹

La infraestructura vial, sea ésta una carretera o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos, que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación

¹ Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J. Ingeniería del tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Séptima edición. Alfaomega, México D.F. 1994.

discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, tales como los semáforos, las señales de alto y otros tipos de regulación.

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.²

2.2 NIVEL DE SERVICIO

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de 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 términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, Special Report 209, del TBR, traducido al español por la Asociación Técnica de Carreteras de España, ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor. Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas viales de circulación continua son:

² Ibid.

2.2.1 Nivel de servicio A. Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios considerados en forma individual están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón es excelente.

2.2.2 Nivel de servicio B. Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

2.2.3 Nivel de servicio C. Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

2.2.4 Nivel de servicio D. Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.³

³ Ibid.

2.2.5 Nivel de servicio E. El funcionamiento está en el, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

2.2.6 Nivel de servicio F. Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.⁴

2.3 VOLUMEN DE TRÁNSITO

Se define volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado. Se expresa como:

$$Q=N/T$$

Donde:

Q= vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N= número total de vehículos que pasan (vehículos)

T= periodo determinado (unidades de tiempo)⁵

2.4 CONGESTIÓN

⁴ Ibid.

⁵ Cal y Mayor R & Cardenas J; Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones; 8ª Edición. Alfaomega Grupo Editorial, S.A; México, D.F. 2007.

En general la capacidad de un sistema es el número máximo de entidades que pueden ser procesados por unidad de tiempo. De allí que, la congestión ocurre porque el sistema tiene una capacidad limitada y porque la demanda colocada y el proceso mismo tienen un carácter aleatorio.⁶

2.5 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 recreativos; a la distribución direccional en carreteras de dos carriles dos sentidos; y a la distribución por carril en carreras de carriles múltiples.⁷

2.6 DEMANDA

Es el número de vehículos o personas que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico.

2.7 VELOCIDAD A FLUJO LIBRE

Es la velocidad media de los vehículos livianos, medida durante flujos bajos a moderados, es decir en horas valle.⁸

2.8 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

⁶ Cal y Mayor R & Cardenas J. 2007. Op. Cit.

⁷ Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J.1994. Op. Cit.

⁸ Cal y Mayor R & Cardenas J. 2007. Op. Cit.

salidas estén dotados de los correspondientes controles de modo que no interfieran o alteren el tráfico que circula sobre ésta.⁹

2.9 ANTECEDENTES

Debido a las malas especificaciones y la carencia de estudios de capacidad vial se presentan congestiones en algunos puntos críticos donde el volumen de demanda de tránsito excede el volumen máximo que puede pasar por ahí.

2.10 ESTADO DEL ARTE Y DEL CONOCIMIENTO

Actualmente no existe en Colombia un manual de capacidad específico que pueda aplicarse a la autopista Bucaramanga-Piedecuesta. Es por ello que, la ingeniería de tránsito usa las diferentes versiones de los manuales HCM que han venido surgiendo con el correr de los años.

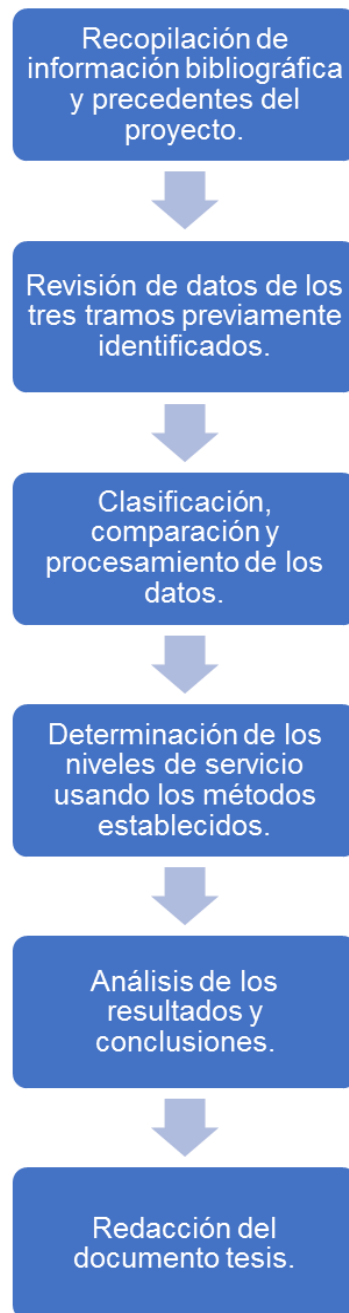
2.11 SITUACIÓN ACTUAL

El manual colombiano de capacidad vial es exclusivamente para carreteras de dos carriles. Para los efectos de perfil vial se acude al Manual de Invias.

⁹ Agudelo, J. J. (2002). Diseño geométrico de vías ajustado al manual colombiano. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

3. METODOLOGÍA

Figura 1. Metodología de investigación



4. DESARROLLO

4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PRECEDENTES DEL PROYECTO

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación que tiene como finalidad determinar el nivel de servicio para tres tramos viales de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta mediante los manuales HCM 1994, HCM 2000 Y HCM 2010 y posterior comparativa entre los resultados obtenidos, se inició con la recopilación de material bibliográfico y precedentes con el fin de obtener la información pertinente necesaria para cumplir con los objetivos planteados.

Se tomó como documento base el proyecto “Caracterización geométrica y de Tránsito del Sistema vial en el tramo comprendido entre Provenza y Piedecuesta en el área metropolitana de Bucaramanga” y la cartilla de información de volúmenes de Tránsito del Instituto Nacional de Vías, documentos de los cuales extrajo información referente a los tramos de la autopista a analizar, geometría de la vía, aforos vehiculares, y volúmenes de tránsito.

4.2 REVISIÓN DE DATOS DE LOS TRES TRAMOS PREVIAMENTE IDENTIFICADOS

4.2.1 Identificación del sector de la autopista a analizar. El sector de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta objeto de estudio inicia en Provenza (Bucaramanga), finaliza en San Francisco (Piedecuesta) y cuenta con una longitud aproximada es de 12,9 Km.¹⁰

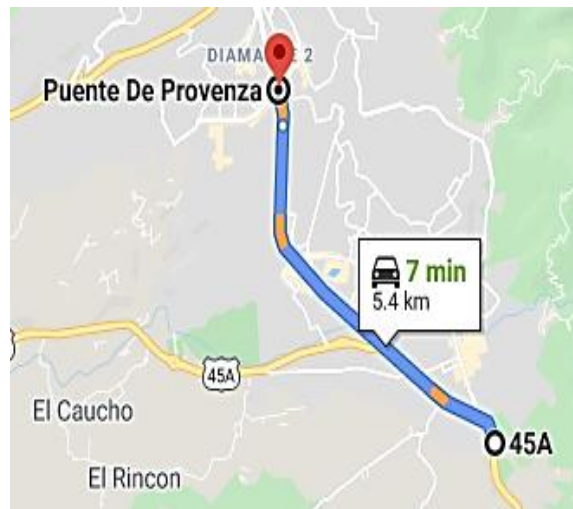
¹⁰ Reyes Martínez Elva & Vargas Rodríguez Luz; Caracterización geométrica y de Tránsito del Sistema vial en el tramo comprendido entre Provenza y Piedecuesta en el área metropolitana de Bucaramanga, Tesis (Pregrado); Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2016

4.2.2 Determinación de los tramos del sector de la autopista a analizar. La determinación de los tramos a estudiar se realizó con base a las características de tránsito presentes en la zona, en donde cerca de las ciudades (Bucaramanga y Piedecuesta) se presenta una mayor afluencia vehicular en comparación con la zona intermedia donde se evidencia una más baja.¹¹

Por lo anterior los tramos identificados son:

4.2.2.1 Tramo 1. Comprendido entre Puente de Provenza y el retorno “La Turena”¹²

Figura 2. Demarcación del tramo 1



Fuente: Google Maps

4.2.2.2 Tramo 2. Comprendido entre Retorno “La Turena” y la estación de Metrolínea “La Española”¹³

¹¹ Ibid.

¹² Ibid.

¹³ Ibid.

Figura 3. Demarcación del tramo 2



Fuente: Google Maps

4.2.2.3 Tramo 3. Comprendido entre la Estación “La española” y el sector San Francisco en Piedecuesta¹⁴

Figura 4. Demarcación del tramo 3



Fuente: Google Maps

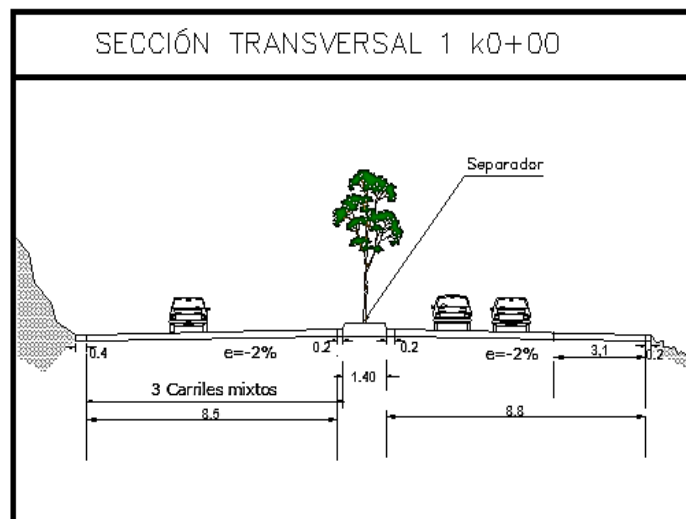
¹⁴ Ibid.

4.2.3 Caracterización del diseño geométrico del sector de la autopista a analizar. Basándose en el proyecto “Caracterización geométrica y de Tránsito del Sistema vial en el tramo comprendido entre Provenza y Piedecuesta en el área metropolitana de Bucaramanga”, se evidenció que a lo largo de los tres tramos seleccionados para el análisis, no se presentan características uniformes en cuanto a la geometría de la vía, por ello, se tomó la sección transversal dominante para cada tramo, es decir, aquella que abarca más longitud, puesto que, para el análisis de niveles de servicio se requieren tramos de autopista que presenten homogeneidad tanto en volumen de tránsito como en geometría de la vía.

En la figura 5, figura 6 y figura 7 se muestran las características geométricas correspondientes a cada uno de los tramos.

Cabe aclarar que el punto de inicio denominado K0+0.00 fue tomado en el Puente de Provenza (Bucaramanga).¹⁵

Figura 5. Sección transversal típica para el tramo 1 ¹⁶



¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

En relación con la figura 5, para efectos de la metodología y su aplicación adecuada, se hace necesario que las dimensiones en las dos calzadas sean iguales, por lo tanto, para efectos de cálculo se asume que la dimensión de la calzada es de 8,7 m, en consecuencia, la de cada carril es de 2,9 m y en el caso de las bermas una anchura de 0,2 m.

Figura 6. Sección transversal típica para el tramo 2 ¹⁷

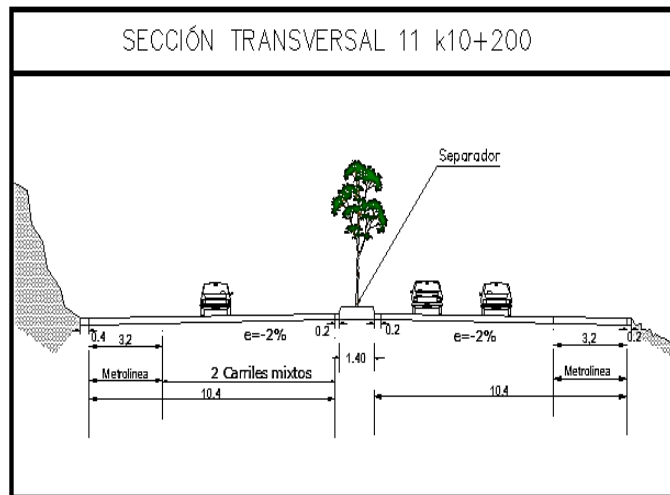
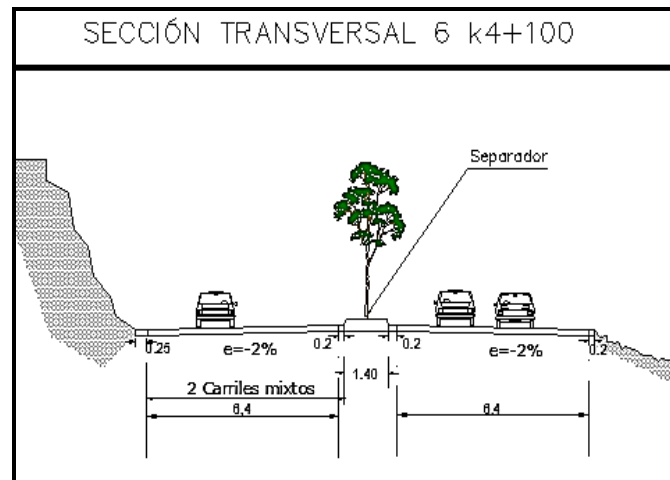


Figura 7. Sección transversal típica para el tramo 3 ¹⁸



¹⁷ Ibid.

¹⁸ Ibid.

4.3 REVISIÓN DE DATOS DE LOS TRES TRAMOS PREVIAMENTE IDENTIFICADOS

Cada uno de los tramos se encuentra debidamente caracterizado con la información pertinente para su respectivo análisis operacional referente al nivel de servicio en el cuadro 1, cuadro 2 y cuadro 3.

Cuadro 1. Caracterización del tramo 1 ¹⁹

Caracterización tramo 1	
No. Carriles/sentido	3
Ancho de carril	2,9
Distancia a obstáculos laterales	0,2
Tipo de terreno	Plano
Velocidad a flujo libre	-
Vol. horario de máx. demanda	5698
% Buses	1,65
% Camiones	0,86
Factor hora de máxima demanda	0,98
Tipo de conductores (Fc)	1

Cuadro 2. Caracterización del tramo 2

Caracterización tramo 2	
No. Carriles/sentido	2
Ancho de carril	3,6
Distancia a obstáculos laterales	0
Tipo de terreno	Plano

¹⁹ Ibid.

Velocidad a flujo libre	-
Vol. horario de máx. demanda	3346
% Buses	5,92
% Camiones	4,84
Factor hora de máxima demanda	0,94
Tipo de conductores (F_c)	1

Cuadro 3. Caracterización del tramo 3 ²⁰

Caracterización tramo 3	
No. Carriles/sentido	2
Ancho de carril	3,2
Distancia a obstáculos laterales	0,2
Tipo de terreno	Plano
Velocidad a flujo libre	-
Vol. horario de máx. demanda	3436
% Buses	5,97
% Camiones	8,27
Factor hora de máxima demanda	0,83
Tipo de conductores (F_c)	1

4.4 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO USANDO LOS MÉTODOS ESTABLECIDOS

Los niveles de servicio para segmentos básicos de una autopista se definen por la densidad. Aunque la velocidad es una gran preocupación de los conductores en relación con la calidad del servicio, la densidad describe la proximidad a otros vehículos y está relacionado con la libertad de maniobra dentro del flujo de tráfico.

²⁰ Ibid.

Sin embargo, a diferencia de la velocidad, la densidad es sensible a las tasas de flujos en todo el rango de flujos.²¹

4.4.1 Método HCM 1994. Las variables que influyen en la circulación en condiciones ideales son:

- Anchura de carril y obstáculos laterales.
- Velocidad de proyecto reducida por las condiciones de la vía.
- Presencia de camiones, autobuses y vehículos recreativos.
- Características de la población de conductores.²²

El análisis operacional para la determinación del nivel de servicio (NDS) de una autopista, según el manual de capacidad de carreteras HCM 1994 es:

Paso 1: Datos de entrada

- ✓ Datos geométricos
- ✓ Flujo de servicio por sentido veh/h

Los datos de entrada para cada tramo de estudio se encuentran registrados en la sección 4.3. Revisión de datos de los tres tramos previamente identificados.

Paso 2: Establecer el factor de ajuste por efecto de restricciones laterales fA

Los valores de factor de ajuste por efecto de restricciones laterales se muestran en el Cuadro 4.

²¹ TRB. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C. 2010.

²² Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J. 1994. Op. Cit.

Cuadro 4. Factores de ajuste por restricciones laterales ²³

Factor de ajuste fA por reducción de anchura de carriles y obstáculos laterales						
Distancia de la calzada al obstáculo	Factor de ajuste fA autopistas					
	Obstáculos a un lado			Obstáculos en ambos lados		
	Anchura de carril					
	Mayor o igual a 3,6	3,3	3	Mayor o igual a 3,6	3,3	3
Mayor o igual a 1,80	1	0,95	0,9	1	0,95	0,9
1,2	0,99	0,94	0,89	0,98	0,93	0,88
0,6	0,97	0,92	0,88	0,95	0,9	0,86
0	0,92	0,88	0,84	0,86	0,82	0,78

Paso 3: Calcular del factor de ajuste por presencia de vehículos pesados fvp.

- ✓ Determinar el factor de ajuste por tipo de conductores fc

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

24

Donde:

P_C: Porcentaje de camiones.

P_B: Porcentaje de autobuses.

P_R: Porcentaje de vehículos recreativos.

E_C: Automóviles equivalentes a un camión.

E_B: Automóviles equivalentes a un autobús.

E_R: Automóviles equivalentes vehículos a un vehículo recreativo. ²⁵

²³ TRB. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, Special Report 209. National Research Council, Washington, D.C. 1994.

²⁴ Ibid.

²⁵ Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J. 1994. Op. Cit.

Los factores de equivalencia en vehículos livianos para vehículos pesados se pueden estimar a través del Cuadro 5.

Cuadro 5. Equivalencia en vehículos ligeros según el tipo de terreno ²⁶

Equivalencia en vehículos livianos para segmentos básicos de autopistas			
Categoría	Tipo de terreno		
	Llano	Odulado (Pendientes entre el 4 y el 6%)	Montañoso (Pendientes mayores del 6%)
Ec Para camiones	1,5	4	6
Eb Para buses	1,5	3	6
Er Vehículos Recreativos	1,2	2	4

Paso 4: Determinar del factor de ajuste por tipo de conductor f_c .

En el Cuadro 6 se exponen los valores que puede tomar el factor de ajuste por tipo de conductor dependiendo del tipo de tráfico.

Cuadro 6. Factores de ajuste por tipo de conductor ²⁷

Factor de ajuste f_c por tipo de conductores	
Tipo de tráfico	Factor de ajuste
Día laboral (Usuarios habituales)	1
Recreo, Festivos Y Otros	0,75-0,99

²⁶ TRB. 1994. Op. Cit.

²⁷ Ibid.

Paso 5: Calcular la relación volumen capacidad V/C

Teniendo en cuenta la fórmula de flujo de servicio de sentido que se muestra a continuación y habiendo obtenido los valores de los pasos anteriores, se despeja la relación V/C.

$$F_{si}=(C_j)(V/C) (N)(f_A)(f_{vp})(f_c) \quad 28$$

Donde:

F_{si} : Flujo de servicio por sentido a nivel i, bajo condiciones prevalecientes del camino y del tránsito, en vehículos mixtos por hora veh/h.

C_j : Capacidad por carril en condiciones ideales para la velocidad de proyecto. Es 2.000 autos/hora/carril, para velocidades de proyecto de 97 Km/hora y 1.900 autos/hora/carril para 80 Km/hora.

V/C: Máxima relación vol./ capacidad asociada al NDS.

N: Número de carriles por sentido.

f_A : Factor de ajuste por efecto de restricciones en el ancho del carril y distancia a obstáculos laterales (camiones, autobuses y vehículos recreativos).

f_{vp} : Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, ya sea que estos circulen en días laborales o fines de semana.

f_c : Factor de ajuste por tipo de conductores, ya sea que estos circulen en días laborales o en semana.²⁹

Paso 6: Determinar nivel de servicio.

Una vez obtenido el valor correspondiente para la relación V/C se procede a precisar el nivel de servicio teniendo en cuenta la velocidad de diseño de la autopista y la Cuadro 7.

²⁸ TRB. 1994. Op. Cit.

²⁹ Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J. 1994. Op. Cit.

Cuadro 7. Niveles de servicio para tramos básicos de autopistas³⁰

NDS para segmentos básicos de autopistas				
NDS	Densidad máxima (Veh/Km)	Velocidad mínima (Km/hr)	Intensidad máxima de servicio (vehículos)	Relación máxima (V/C)
Velocidad libre de 112,6 Kms/hora				
A	6,2	112,6	700	0,318-0,304
B	10	112,6	1120	0,509-0,487
C	15	110,2	1644	0,747-0,715
D	20	101,4	2015	0,916-0,876
E	22,8/24,7	96,5/93,3	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR
Velocidad libre de 104,6 Kms/hora				
A	6,2	104,6	650	0,295-0,283
B	10	104,6	1140	0,473-0,452
C	15	103,8	1548	0,704-0,673
D	20	98,1	1952	0,887-0,849
E	24,4/27	90,1/85,30	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR
Velocidad libre de 96,5 Kms/hora				
A	6,2	96,5	600	0,272-0,261
B	10	96,5	960	0,436-0,417
C	15	96,5	1440	0,655-0,626
D	20	91,7	1824	0,829-0,793
E	25,8/28,6	85,3/80,5	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR
Velocidad libre de 88,5 Kms/hora				
A	6,2	88,5	550	0,250-0,239
B	10	88,5	880	0,400-0,383
C	15	88,5	1320	0,600-0,574
D	20	88,2	1760	0,800-0,765
E	27,3/29,8	80,5/77,2	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR

³⁰ TRB. 1994. Op. Cit.

4.4.1.1 Aplicación. A continuación, se muestra aplicación de la metodología HCM 1994 para cada tramo especificado en el presente documento.

✚ Tramo 1: Puente de Provenza - Retorno “La Turena”

Datos de entrada

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 3

Ancho de carril: 2,9 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,2 m a ambos lados.

✓ Flujo de servicio: 5698 veh/h

Establecer el factor de ajuste por efecto de restricciones laterales fA

Como el ancho de carril de la autopista en el presente tramo es de 2,9 m y en la tabla 4, no existe dicha dimensión para determinar este factor, entonces, se procede a realizar el cálculo mediante interpolación:

X0=3,3 Y0=0,82

X1=3 Y1=0,78

X=2,9 Y=?

$$Y = Y_0 + \frac{(X - X_0)}{X_1 - X_0} (Y_1 - Y_0)$$

$$Y = 0,82 + \frac{(2,9 - 3,3)}{3,0 - 3,3} (0,78 - 0,82) = 0,77$$

Por lo tanto, el valor para f_A es de: 0,77

Cálculo del factor de ajuste por presencia de vehículos pesados f_{VP} .

$P_C = 0,86$

$P_B = 1,65$

$P_R = 0$

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Sabiendo que el tipo de terreno es plano los valores de equivalencia de automóviles son:

$E_T = 1,5$

$E_B = 1,5$

$E_R = 0$

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0,86(1,5 - 1) + 1,65(1,5 - 1)} = 0,99$$

Determinación del factor de ajuste por tipo de conductor f_C

Como los datos de aforo fueron tomados en día laborable el valor para el factor f_C es 1.

Cálculo de la relación volumen capacidad V/C

El valor correspondiente a C_j es de 1900 veh/h/carril debido a que la velocidad de diseño de la autopista es de 80 Km/h

$$\frac{V}{C} = \frac{F_{si}}{C_j * N * f_A * f_{vp} * f_c}$$

$$V/C = \frac{5698}{1900 * 3 * 0,77 * 0,99 * 1} = 1,3$$

Determinación del nivel de servicio

Teniendo en cuenta que la velocidad de diseño de la autopista es de 80 km/h, para determinar el nivel de servicio se hace uso de la Cuadro 8.

Cuadro 8. Determinación NDS tramo 1 método HCM 1994

Velocidad libre de 88,5 Kms/hora				
A	6,2	88,5	550	0,250-0,239
B	10	88,5	880	0,400-0,383
C	15	88,5	1320	0,600-0,574
D	20	88,2	1760	0,800-0,765
E	27,3/29,8	80,5/77,2	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR

Como la relación capacidad demanda es superior a uno el nivel de servicio para esta autopista es F.

✚ Tramo 2: Retorno “La Turena” -Estación de Metrolínea “La Española”

Datos de entrada

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 2

Ancho de carril: 3,6 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,0 m a ambos lados.

✓ Flujo de servicio: 3346 veh/h

Establecimiento el factor de ajuste por efecto de restricciones laterales fA

Según la tabla 4, para un ancho de carril mayor o igual a 3,6 y una distancia de la calzada a obstáculos laterales de 0 a ambos lados, el valor de fA corresponde a 0,86.

Cálculo del factor de ajuste por presencia de vehículos pesados fvp.

Pc= 4,84

PB= 5,92

PR= 0

Sabiendo que el tipo de terreno es plano los valores de equivalencia de automóviles son:

ET= 1,5

EB= 1,5

ER= 0

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 4,84(1,5 - 1) + 5,92(1,5 - 1)} = 0,95$$

Determinación del factor de ajuste por tipo de conductor fc

Como los datos de aforo fueron tomados en día laborable el valor para el factor f_c es 1.

Cálculo de la relación volumen capacidad V/C

El valor correspondiente a C_j es de 1900 veh/h/carril debido a que la velocidad de diseño de la autopista es de 80 Km/h.

$$V/C = \frac{F_{si}}{C_j * N * f_A * f_{vp} * f_c}$$

$$V/C = \frac{3346}{1900 * 2 * 0,86 * 0,95 * 1} = 1,1$$

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 9. Determinación NDS tramo 2 método HCM 1994

Velocidad libre de 88,5 Kms/hora				
A	6,2	88,5	550	0,250-0,239
B	10	88,5	880	0,400-0,383
C	15	88,5	1320	0,600-0,574
D	20	88,2	1760	0,800-0,765
E	27,3/29,8	80,5/77,2	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR

Según el Cuadro 9 y el valor de la relación capacidad demanda, el cual es superior a la unidad, el nivel servicio para esta autopista en el tramo 2 es F.

✚ Tramo 3: Estación “La española”-San Francisco (Piedecuesta)

Datos de entrada

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 2

Ancho de carril: 3,2 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,2 m a ambos lados.

✓ Flujo de servicio: 3436 veh/h

Establecimiento el factor de ajuste por efecto de restricciones laterales f_A

Como el ancho de carril de la autopista en el presente tramo es de 2,9 m y en la tabla 4, no existe dicha dimensión para determinar este factor, entonces, se procede a realizar el cálculo mediante interpolación:

$X_0=3,3$ $Y_0=0,82$

$X=3,2$ $Y=?$

$X=3$ $Y=0,78$

$$Y = Y_0 + \frac{(X - X_0)}{X_1 - X_0} (Y_1 - Y_0)$$

$$Y = 0,82 + \frac{(3,2 - 3,3)}{3,0 - 3,3} (0,78 - 0,82) = 0,81$$

Por lo tanto, el valor para f_A es de: 0,81

Cálculo del factor de ajuste por presencia de vehículos pesados fvp.

$$P_C = 8,27$$

$$P_B = 5,97$$

$$P_R = 0$$

Sabiendo que el tipo de terreno es plano los valores de equivalencia de automóviles son:

$$E_T = 1,5$$

$$E_B = 1,5$$

$$E_R = 0$$

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 8,27(1,5 - 1) + 5,97(1,5 - 1)} = 0,93$$

Determinación del factor de ajuste por tipo de conductor f_c

Como los datos de aforo fueron tomados en día laborable el valor para el factor f_c es 1.

Cálculo de la relación volumen capacidad V/C

El valor correspondiente a C_j es de 1900 veh/h/carril debido a que la velocidad de diseño de la autopista es de 80 Km/h.

$$V/C = \frac{F_{si}}{C_j * N * f_A * f_{vp} * f_c}$$

$$V/C = \frac{3436}{1900 * 2 * 0,81 * 0,93 * 1} = 1,2$$

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 10. Determinación NDS tramo 3 método HCM 1994

Velocidad libre de 88,5 Kms/hora				
A	6,2	88,5	550	0,250-0,239
B	10	88,5	880	0,400-0,383
C	15	88,5	1320	0,600-0,574
D	20	88,2	1760	0,800-0,765
E	27,3/29,8	80,5/77,2	2200/2300	1
F	VAR	VAR	VAR	VAR

Teniendo en cuenta el Cuadro 10 e ingresando con el valor de la relación capacidad demanda, cuyo valor mayor que 1, el nivel servicio para esta autopista en el tramo 3 es F.

4.4.2 Método HCM 2000. El esquema metodológico en el HCM 2000 para el análisis de niveles de servicio establece que necesitamos datos geométricos, los datos de velocidad a flujo libre ya sea calculada, medida en campo o determinada a partir de una velocidad a flujo libre base y el volumen horario por sentido, en este caso tenemos dos líneas de trabajo que debemos desarrollar, cálculo del flujo de demanda que se hace a partir del factor hora pico, del número de carriles, tipo de conductor y porcentaje de vehículos pesados; cálculo de la velocidad a flujo libre que puede ser medida en campo o determinada a partir de una velocidad de flujo base que es afectada por un factor de ancho del carril, del número de carriles, de la densidad y la distancia lateral que se tenga disponible. Con esos dos parámetros existen unos gráficos que el manual proporciona con los cuales podemos definir el nivel de servicio en el cual se encuentra la vía y determinar la velocidad y la densidad a la cual se está operando.³¹

³¹ TRB. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C. 2000.

Este procedimiento antes descrito se consignará a continuación paso a paso:

Paso 1: Datos de entrada

- ✓ Datos geométricos.
- ✓ FFS (velocidad a flujo libre) medida en el campo o BFFS (Velocidad base de flujo libre).
- ✓ Volumen de demanda.

Los datos de entrada para cada tramo de estudio se encuentran registrados en la sección 4.3. Revisión de datos de los tres tramos previamente identificados.

Paso 2: Calcular FFS (Velocidad a Flujo libre)

Se usa la ecuación 23-1 HCM 2000

$$FFS = BBS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

- ✓ *BFFS*: Velocidad base de flujo libre, 110 km/h (urbano). Este valor está basado en las condiciones de las autopistas americanas las cuales distan de las autopistas presentes en nuestro país por lo que la velocidad base que se asume es la velocidad de diseño del proyecto
- ✓ f_{LW} : Ajuste para el ancho del carril, Anexo 23-4 HCM 2000.

Cuadro 11. Factores de ajuste por ancho del carril ³²

³² Ibid.

Ancho de carril	Reducción de la velocidad a flujo libre f_{LW} (Km/h)
3,6	0,0
3,5	1,0
3,4	2,1
3,3	3,1
3,2	5,6
3,1	8,1
3	10,6

✓ f_{LC} : Ajuste para despeje lateral(hombro derecho), Anexo 23-5 HCM 2000

Cuadro 12. Factores de ajuste distancia a obstrucciones laterales³³

Hombro derecho despeje lateral (m)	flujo libre f_{LC} Carriles en una dirección			
	2,0	3,0	4,0	≥5
≥1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,0	0,7	0,3	0,2
1,2	1,9	1,3	0,7	0,4
0,9	2,9	1,9	1,0	0,6
0,6	3,9	2,6	1,3	0,8
0,3	4,8	3,2	1,6	1,1
0	5,8	3,9	1,9	1,3

✓ f_N : Ajuste por número de carriles, Anexo 23-6 HCM 2000

Cuadro 13. Factores de ajuste por número de carriles³⁴

³³ Ibid.

³⁴ Ibid

Número de carriles (una dirección)	Reducción de la velocidad de flujo libre fN (km/h)
≥5	0,0
4	2,4
3	4,8
2	7,5

✓ f_{ID} : ajuste para la densidad de intercambio, Anexo 23-7 HCM 2000

Cuadro 14. Factores de ajuste por densidad de intercambio³⁵

Intercambios por kilómetro	Reducción de la velocidad de flujo libre fID (Km/h)
≤ 0,3	0,0
0,4	1,1
0,5	2,1
0,6	3,9
0,7	5,0
0,8	6,0
0,9	8,1
1,0	9,2
1,1	10,2
1,2	12,1

Paso 3: Determinación de la tasa de flujo

Se usa la ecuación 23-2 HCM 2000

$$V_p = \frac{V}{(FHMD)(N)(f_{HV})(f_p)}$$

Donde:

³⁵ Ibid.

V: Volumen por hora (veh mixtos/h)

FHMD: Factor de hora pico

N: Número de carriles

f_p : Factor de población de conductor

f_{HV} : Factor de ajuste del vehículo pesado, ecuación 23-3 HCM 2000

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

✓ E_T : Automóviles equivalentes a un camión

✓ E_B : Automóviles equivalentes a un autobús

✓ E_R : Automóviles equivalentes vehículos a un vehículo recreativo

Cuadro 15. Factores vehículos equivalentes³⁶

Equivalencia en vehículos ligeros para segmentos básicos de autopista			
Categoría	Tipo de terreno		
	Llano	Odulado (Pendientes entre el 4 y el 6%)	Montañoso (Pendientes mayores del 6%)
Camiones y Buses ET	1,5	2,5	4,5
Er Vehículos Recreativos	1,2	2	4

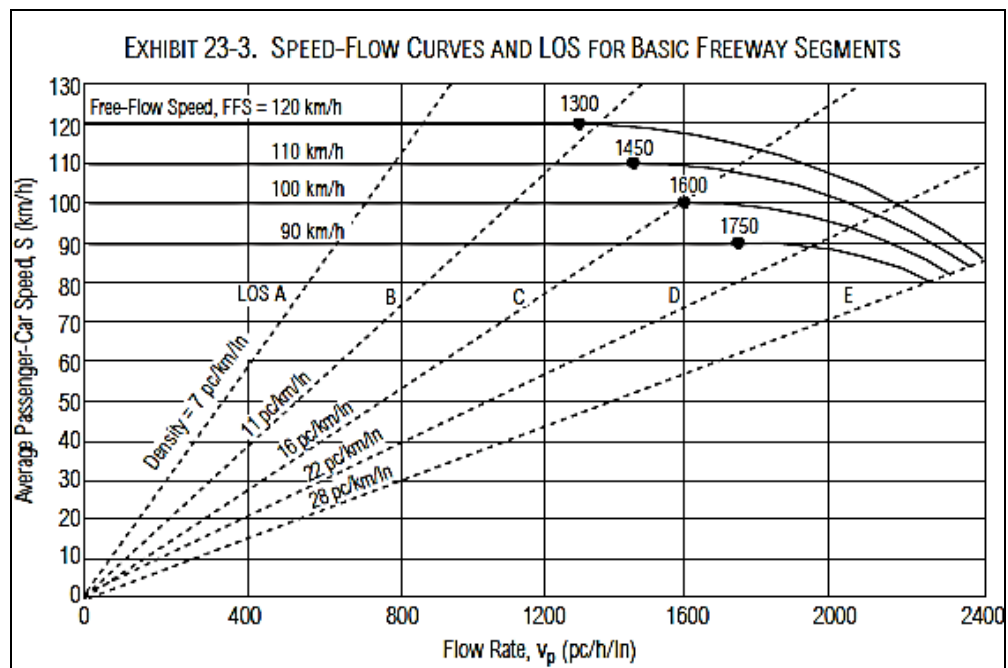
Paso 4: Estimación de la velocidad media y de la densidad

³⁶ Ibid.

✓ Estimación de la velocidad media

A partir de la Figura 8 y la velocidad estimada se elige una curva velocidad flujo y con base a la tasa de flujo V_p , se lee en el eje vertical la velocidad media de los automóviles (S).

Figura 8. Curvas velocidad flujo para segmentos básicos de autopista³⁷



✓ Estimación de la densidad

Para el respectivo cálculo de la densidad, Se usa la ecuación 23-4 HCM 2000

$$D = \frac{V_p}{S}$$

Donde:

³⁷ Ibid.

V_p : Caudal

S: Velocidad media de recorrido

Paso 5: Determinar los niveles de servicio

- ✓ Comparar el cálculo de densidad con los rangos de la figura 23-2 HCM 2000

Tabla 1. Determinación niveles de servicio³⁸

Criterio	NDS PARA AUTOPISTAS TRAMOS BÁSICOS				
	A	B	C	D	F
Velocidad libre de 120 Kms/hora					
Densidad máxima (Veh/Km)	7	11	16	22	28
Velocidad mínima (Km/hr)	120	120	114.6	99.6	86.7
Relación máxima (V/C)	0.35	0.55	0.77	0.92	1.00
Flujo máximo de servicio (veh/h/carril)	840	1320	1840	2200	2400
Velocidad libre de 110 Kms/hora					
Densidad máxima (Veh/Km)	7	11	16	22	28
Velocidad mínima (Km/hr)	110	110	108.5	97.2	83.9
Relación máxima (V/C)	0.33	0.51	0.74	0.91	1
Flujo máximo de servicio (veh/h/carril)	770	1210	1740	2135	2350
Velocidad libre de 100 Kms/hora					
Densidad máxima (Veh/Km)	7	11	16	22	28
Velocidad mínima (Km/hr)	100	100	100	93.8	82.1
Relación máxima (V/C)	0.30	0.48	0.70	0.90	1
Flujo máximo de servicio (veh/h/carril)	700	1100	1600	2065	2300
Velocidad libre de 90 Kms/hora					
Densidad máxima (Veh/Km)	7	11	16	22	28
Velocidad mínima (Km/hr)	90	90	90	89.1	80.4
Relación máxima (V/C)	0.28	0.44	0.64	0.87	1
Flujo máximo de servicio (veh/h/carril)	630	990	1440	1955	2250

³⁸ Ibid.

4.4.2.1 Aplicación. A continuación, se muestra la aplicación de la metodología HCM 2000 para cada tramo especificado en el presente documento.

✚ Tramo 1: Puente de Provenza - Retorno “La Turena”

Datos de entrada:

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 3

Ancho de carril: 2,9 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,2 m a ambos lados.

✓ Volumen de demanda: 5698 veh/h

✓ FFS Medido: No disponible

Cálculo FFS (Velocidad a flujo libre)

BBS= 80 km/h

$f_{LW} = 10,6$ km/h

$f_{LC} = 3,4$ km/h (interpolación)

$f_N = 4,8$ km/h

$f_{ID} = 0$ km/h

$$FFS = BBS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

$$FFS = 80 - 10,6 - 3,4 - 4,8 - 0$$

$$FFS = 61,2 \text{ [km/h]}$$

Ajuste del volumen de demanda

- ✓ Factor hora pico (FHMD): 0,98
- ✓ Número de carriles (una dirección): 3
- ✓ Ajuste del vehículo pesado:

PT (porcentaje de camiones): 0,86

PB (porcentaje de buses): 1,65

ET (Automóviles equivalentes de camiones): 1,5

EB (Automóviles equivalentes de buses): 1,5

ET, EB, valores obtenidos del Cuadro 15.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0,86(1,5 - 1) + 1,65(1,5 - 1)} = 0,99$$

- ✓ Ajuste volumen de demanda

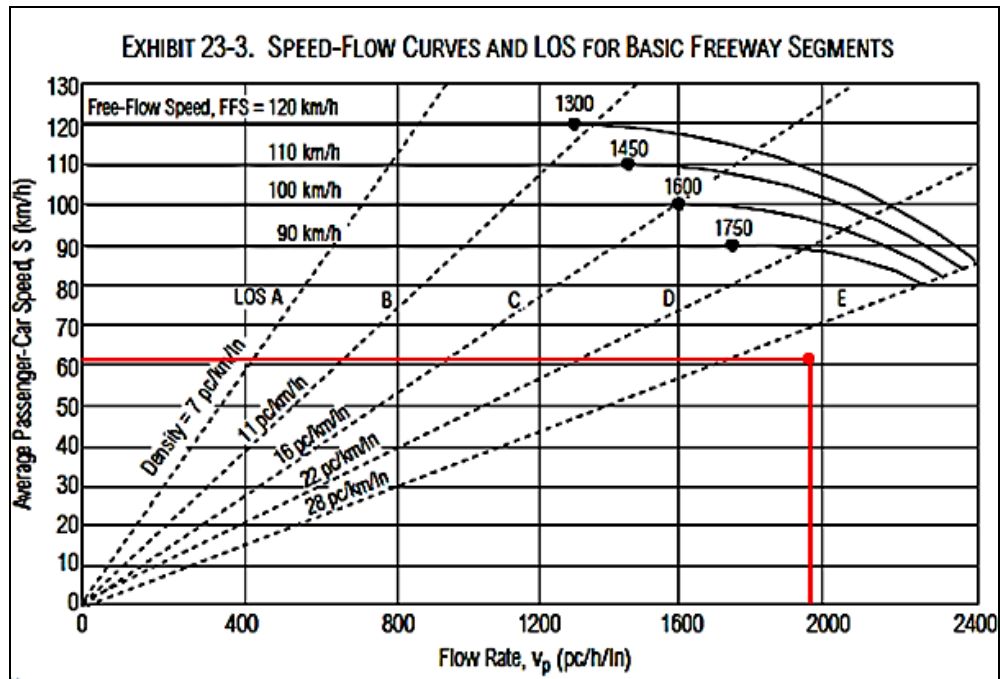
$$V_p = \frac{5698}{(0,98)(3)(0,99)(1)}$$

V_p=1966 vehículos livianos/h/carril

Estimación de la velocidad media y de la densidad

- ✓ Estimación de la velocidad media. La estimación de la velocidad media no se puede realizar gráficamente ya que no existe una curva velocidad flujo que se adapte a las condiciones de velocidad de flujo libre estimada por lo tanto se asume la velocidad a flujo libre como la velocidad media.

Figura 9. Determinación de la velocidad media para el tramo 1



✓ Determinación de la densidad

$$D = \frac{1966}{61,2}$$

D=32 vehículos livianos/km/carril

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 16. Determinación nivel de servicio tramo 1 método HCM 2000

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

Teniendo en cuenta la Figura 9 y la Cuadro 16, Se comprueba que el nivel de servicio para el primer tramo es de la Autopista es: F

✚ Tramo 2: Retorno “La Turena” -Estación de Metrolínea “La Española”

Datos de entrada:

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 2

Ancho de carril: 3,6 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,0 m a ambos lados.

✓ Volumen de demanda: 3346 veh/h

✓ FFS Medido: No disponible

Cálculo FFS (Velocidad a flujo libre)

BBS= 80 km/h

$f_{LW} = 0,0$ km/h

$f_{LC} = 5,8$ km/h

$f_N = 7,5$ km/h

$f_{ID} = 0$ km/h

$$FFS = BBS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

$$FFS = 80 - 0 - 5,8 - 7,5 - 0$$

$$FFS = 66,7 \text{ [km/h]}$$

Ajuste del volumen de demanda

- ✓ Factor hora pico (FHMD): 0,94
- ✓ Número de carriles (una dirección): 2

✓ Ajuste del vehículo pesado:

PT (porcentaje de camiones): 4,84

PB (porcentaje de buses): 5,92

ET (Automóviles equivalentes de camiones): 1,5

EB (Automóviles equivalentes de buses): 1,5

ET, EB, valores obtenidos de la Tabla 15.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 4,84(1,5 - 1) + 5,92(1,5 - 1)} = 0,95$$

✓ Ajuste volumen de demanda

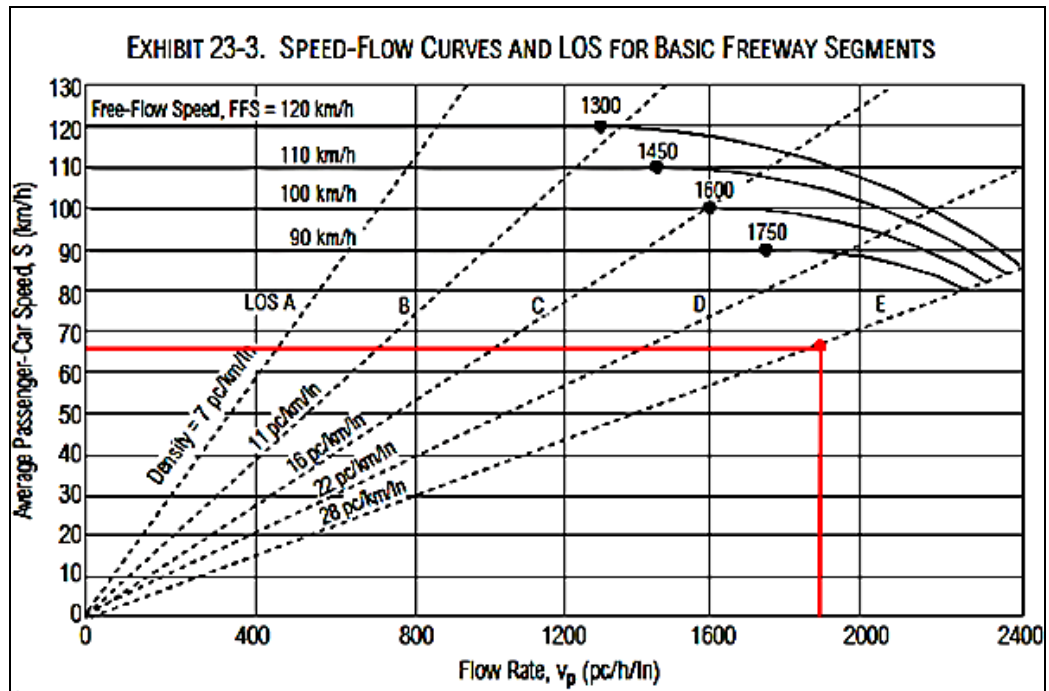
$$V_p = \frac{3346}{(0,94)(2)(0,95)(1)}$$

V_p = 1873 vehículos livianos/h/carril

Estimación de la velocidad media y de la densidad

- ✓ Estimación de la velocidad media. La estimación de la velocidad media no se puede realizar gráficamente ya que no existe una curva velocidad flujo que se adapte a las condiciones de velocidad de flujo libre estimada por lo tanto se asume la velocidad a flujo libre como la velocidad media.

Figura 10. Determinación de la velocidad media para el tramo 2



✓ Determinación de la densidad

$$D = \frac{1873}{66,7}$$

$D = 28$ vehículos livianos/km/carril

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 17. Determinación nivel de servicio tramo 2 método HCM 2000

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	$> 7-11$
C	$> 11-16$
D	$> 16-22$
E	$> 22-28$
F	La demanda excede la capacidad >28

Como se observa en la Figura 10 y el Cuadro 17, el nivel de servicio para el segundo tramo de la Autopista es: E

✚ Tramo 3: Estación “La española”-San Francisco (Piedecuesta)

Datos de entrada:

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 2

Ancho de carril: 3,2 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,2 m a ambos lados.

✓ Volumen de demanda: 3436 veh/h

✓ FFS Medido: No disponible

Cálculo FFS (Velocidad a flujo libre)

BBS= 80 km/h

$f_{LW} = 5,6$ km/h

$f_{LC} = 3,4$ km/h (interpolación)

$f_N = 7,5$ km/h

$f_{ID} = 0$ km/h

$$FFS = BBS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

$$FFS = 80 - 5,6 - 3,4 - 7,5 - 0$$

$$FFS = 63,5 \text{ [km/h]}$$

Ajuste del volumen de demanda

- ✓ Factor hora pico (FHMD): 0,83
- ✓ Número de carriles (una dirección): 2

- ✓ Ajuste del vehículo pesado:

PT (porcentaje de camiones): 8,27

PB (porcentaje de buses): 5,97

ET (Automóviles equivalentes de camiones): 1,5

EB (Automóviles equivalentes de buses): 1,5

ET, EB, valores obtenidos de la Tabla 15.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 8,27(1,5 - 1) + 5,97(1,5 - 1)} = 0,93$$

- ✓ Ajuste volumen de demanda

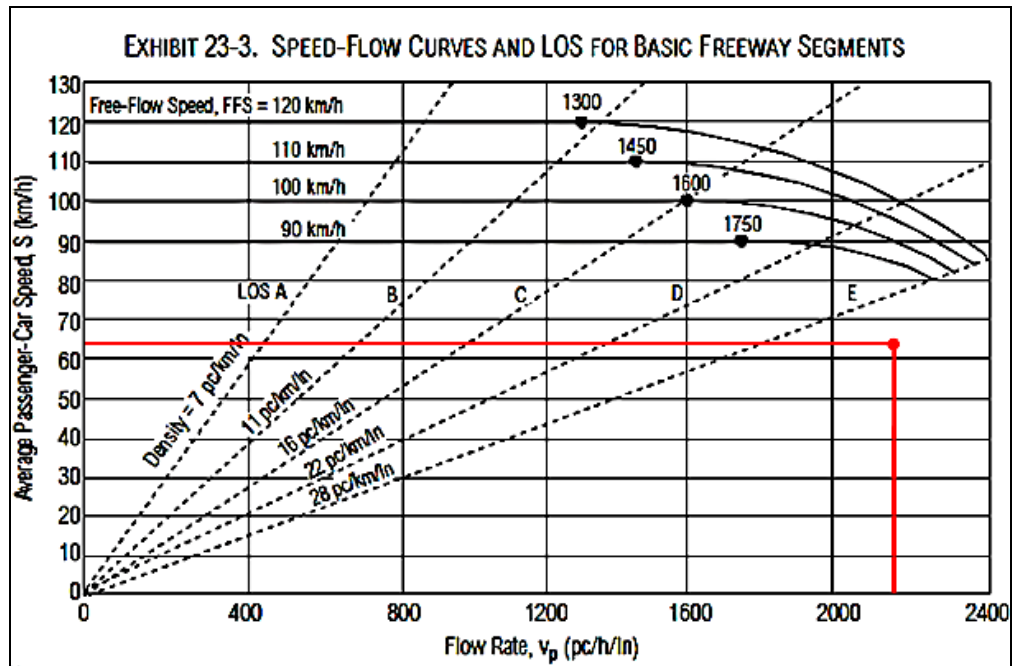
$$Vp = \frac{3436}{(0,83)(2)(0,93)(1)}$$

Vp= 2223 vehículos livianos/h/carril

Estimación de la velocidad media y de la densidad

- ✓ Estimación de la velocidad media. La estimación de la velocidad media no se puede realizar gráficamente ya que no existe una curva velocidad flujo que se adapte a las condiciones de velocidad de flujo libre estimada por lo tanto se asume la velocidad a flujo libre como la velocidad media.

Figura 11. Determinación de la velocidad media para el tramo 3



✓ Determinación de la densidad

$$D = \frac{2223}{63,5}$$

D=36 vehículos livianos/km/carril

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 18. Determinación nivel de servicio tramo 3, método HCM 2000

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

Por lo tanto, el nivel de servicio con base en la Figura 11 y el Cuadro 18 implementando la metodología del manual HCM 2000, para el tercer tramo de la Autopista es: F.

4.4.3 Método HCM 2010. El paso a paso del cálculo del nivel de servicio para análisis operacional que se encuentra consignado en el manual de capacidad de carreteras HCM 2010 se muestra a continuación:

Paso 1: Datos de entrada. Los datos de entrada necesarios para el inicio de la metodología son los siguientes.³⁹

- ✓ Datos geométricos
- ✓ Volumen de demanda
- ✓ FFS medido (si está disponible)

Los datos de entrada para cada tramo se encuentran en la sección: 4.3 Revisión de datos de los tres tramos previamente identificados.

Paso 2: Calcular FFS (Velocidad a flujo libre)

- ✓ Ajuste de ancho de carril
- ✓ Ajuste de holgura lateral
- ✓ Use la ecuación 11-1 HCM 2010

$$FFS = 121,4 - fLw - fLc - 3.22 TRD^{0,84}$$

Donde:

FFS: velocidad de flujo libre del segmento básico de autopista (Km / h).⁴⁰

³⁹ TRB. 2010. Op. Cit.

Para el análisis de la presente autopista se realizó una modificación a la fórmula cambiando la velocidad base de 121,4 km/h usada por el manual la cual se estableció en base a que resultó precisa en la mayoría de las predicciones versus datos recopilados en 2008, sin embargo esto se cumple para autopistas americanas y para efectos de cálculo y adecuación de la fórmula a las condiciones reales de la autopista se asume como velocidad base, la velocidad de diseño del proyecto 80 km/h.

f_{LW} : ajuste para ancho de carril (Km / h)

Cuadro 19. Factores de ajuste por ancho de carril ⁴¹

Ancho de carril	Reducción de la velocidad a flujo libre f_{LW} (Km/h)
≥3,66	0,0
≥3,36-3,66	3,1
≥3,05-3,36	10,6

f_{LC} : ajuste para el espacio lateral derecho (Km / h)

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ Ibid.

Cuadro 20. Factores de ajuste por distancia a obstáculos laterales ⁴²

Hombro derecho despeje lateral (m)	flujo libre <i>f</i> LC Carriles en una dirección			
	2,0	3,0	4,0	≥5
≥1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,0	0,7	0,3	0,2
1,2	1,9	1,3	0,7	0,4
0,9	2,9	1,9	1,0	0,6
0,6	3,9	2,6	1,3	0,8
0,3	4,8	3,2	1,6	1,1
0	5,8	3,9	1,9	1,3

TRD: densidad de rampa total (rampas / Km).

Paso 3: ajustar el volumen de demanda ⁴³

- ✓ Factor de hora pico
- ✓ Número de carriles (una dirección)
- ✓ Ajuste del vehículo pesado

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

Cuadro 21. Factores de vehículos equivalentes ⁴⁴

⁴² Ibid.

⁴³ Ibid.

Equivalencia en vehículos ligeros para segmentos básicos de autopista			
Categoría	Tipo de terreno		
	Llano	Odulado (Pendientes entre el 4 y el 6%)	Montañoso (Pendientes mayores del 6%)
Camiones y Buses ET	1,5	2,5	4,5
Er Vehículos Recreativos	1,2	2	4

E_T : Automóviles equivalentes a un camión

E_B : Automóviles equivalentes a un autobús

E_R : Automóviles equivalentes vehículos a un vehículo recreativo

✓ Ajuste de la población de conductores. Use la ecuación 11-2

$$V_p = \frac{V}{(FHMD)(N)(f_{HV})(f_p)}$$

✓ Compare la tasa de flujo de demanda ajustada a la capacidad base

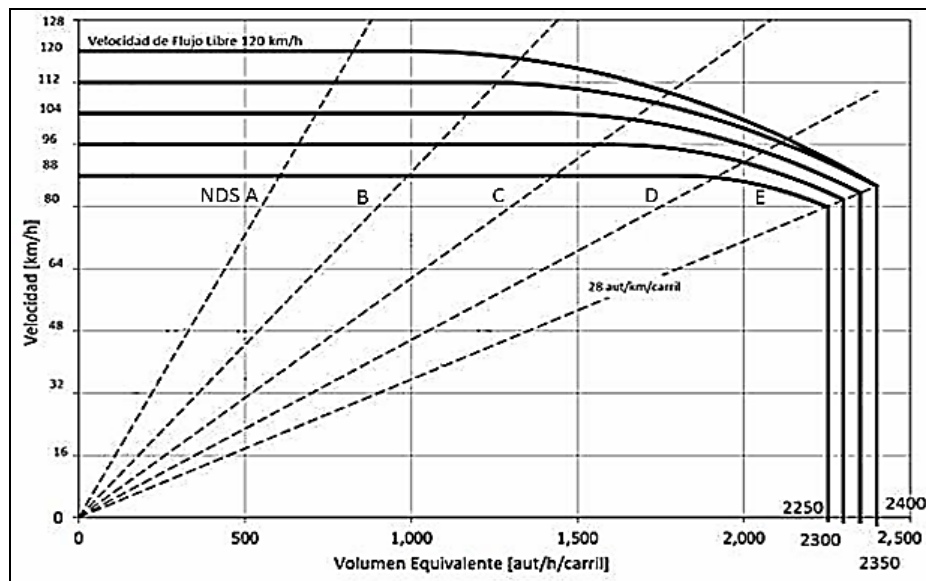
Paso 4: Estimación de la velocidad media y de la densidad

✓ Estimación de la velocidad media Anexo 11-3 o Anexo 11-2 HCM 2010

A partir de la figura 12 y la velocidad estimada se elige una curva velocidad flujo y con base a la tasa de flujo V_p se lee en el eje vertical la velocidad media de los automóviles (S).

⁴⁴ Ibid.

Figura 12. Curvas velocidad flujo para segmentos básicos de autopista⁴⁵



✓ Densidad Ecuación 11-4 HCM 2010

$$D = \frac{V_p}{S}$$

Paso 5: Determinar los niveles de servicio

✓ Anexo 11-5 HCM 2010

Cuadro 22. Determinación del nivel de servicio⁴⁶ [2]

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

⁴⁵ Ibid.

⁴⁶ Ibid

4.4.3.1 Aplicación. A continuación, se muestra aplicación de la metodología HCM 2010 para cada tramo especificado en el presente documento.

✚ Tramo 1: Puente de Provenza - Retorno “La Turena”

Datos de entrada:

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 3

Ancho de carril: 2,9 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,2 m a ambos lados.

✓ Volumen de demanda: 5698 veh/h

✓ FFS Medido: No disponible

Cálculo FFS (Velocidad a flujo libre)

BBS= 80 km/h

$f_{LW} = 10,6$ km/h

$f_{LC} = 3,4$ km/h (interpolación)

TRD = 0 km/h

$$FFS = 80 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22 TRD^{0,84}$$

$$FFS = 80 - 10,6 - 3,4 - 3.22(0)^{0,84}$$

$$FFS = 66 \text{ [km/h]}$$

Ajuste del volumen de demanda

- ✓ Factor hora pico (FHMD): 0,98
- ✓ Número de carriles (una dirección): 3

✓ Ajuste del vehículo pesado:

PT (porcentaje de camiones): 0,86

PB (porcentaje de buses): 1,65

ET (Automóviles equivalentes de camiones): 1,5

EB (Automóviles equivalentes de buses): 1,5

ET, EB, valores obtenidos de la Tabla 22.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0,86(1,5 - 1) + 1,65(1,5 - 1)} = 0,99$$

- ✓ Ajuste volumen de demanda

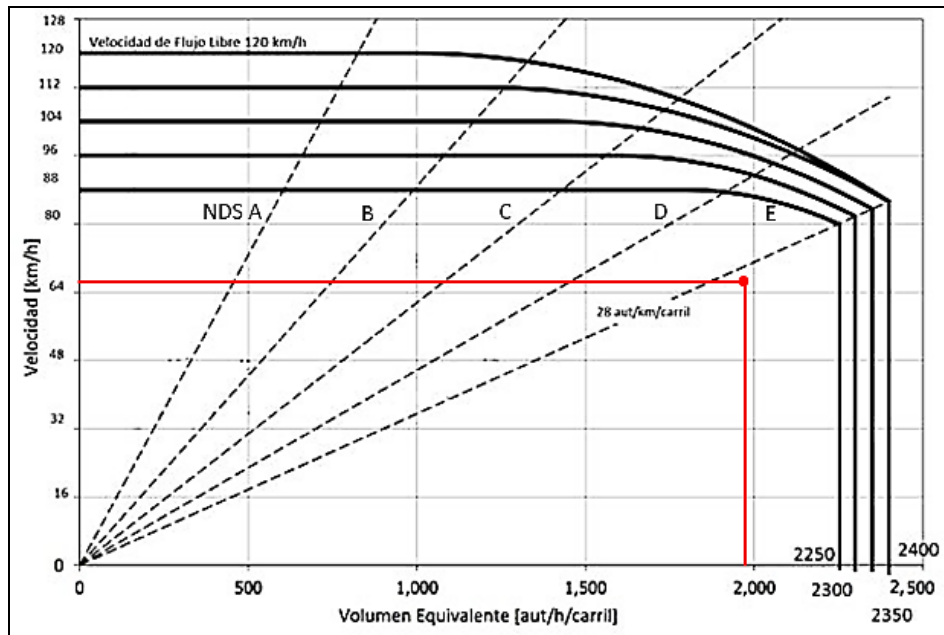
$$V_p = \frac{5698}{(0,98)(3)(0,99)(1)}$$

$V_p = 2223$ vehículos livianos/h/carril

Estimación de la velocidad media y de la densidad

- ✓ Estimación de la velocidad media. La estimación de la velocidad media no se puede realizar gráficamente ya que no existe una curva velocidad flujo que se adapte a las condiciones de velocidad de flujo libre estimada por lo tanto se asume la velocidad a flujo libre como la velocidad media.

Figura 13. Determinación de la velocidad media para el tramo 1



✓ Determinación de la densidad

$$D = \frac{1966}{66}$$

D=30 vehículos livianos/km/carril

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 23. Determinación del nivel de servicio tramo 1, método HCM 2010

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

Ingresando en el Cuadro 23 con el valor obtenido de densidad el cual es mayor que 28 y teniendo en cuenta la figura 13 se determina que el nivel de servicio para el primero tramo implementando la metodología del manual HCM 2010 es F.

✚ Tramo 2: Retorno “La Turena” -Estación de Metrolínea “La Española”

Datos de entrada:

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 2

Ancho de carril: 3,6 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,0 m a ambos lados.

✓ Volumen de demanda: 3346 veh/h

✓ FFS Medido: No disponible

Cálculo FFS (Velocidad a flujo libre)

BBS= 80 km/h

$f_{LW} = 3,1$ km/h

$f_{LC} = 5,8$ km/h

TRD = 0 km/h

$$FFS = 80 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22 TRD^{0,84}$$

$$FFS = 80 - 3,1 - 5,8 - 3.22(0)^{0,84}$$

$$FFS = 71,1 \text{ [km/h]}$$

Ajuste del volumen de demanda

- ✓ Factor hora pico (FHMD): 0,94
- ✓ Número de carriles (una dirección): 2

✓ Ajuste del vehículo pesado:

PT (porcentaje de camiones): 4,84

PB (porcentaje de buses): 5,92

ET (Automóviles equivalentes de camiones): 1,5

EB (Automóviles equivalentes de buses): 1,5

ET, EB, valores obtenidos de la Tabla 22.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 4,84(1,5 - 1) + 5,92(1,5 - 1)} = 0,95$$

✓ Ajuste volumen de demanda

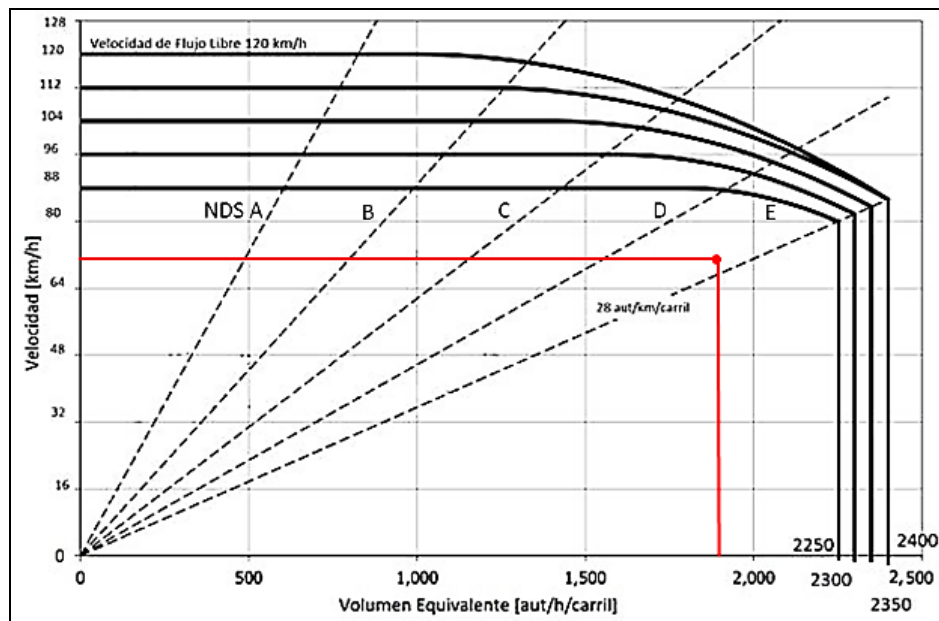
$$Vp = \frac{3346}{(0,94)(2)(0,95)(1)}$$

Vp= 1873 vehículos livianos/h/carril

Estimación de la velocidad media y de la densidad

- ✓ Estimación de la velocidad media. La estimación de la velocidad media no se puede realizar gráficamente ya que no existe una curva velocidad flujo que se adapte a las condiciones de velocidad de flujo libre estimada por lo tanto se asume la velocidad a flujo libre como la velocidad media.

Figura 14. Determinación de la velocidad media para el tramo 2 método HCM 2010



✓ Determinación de la densidad

$$D = \frac{1873}{71,1}$$

D=26 vehículos livianos/km/carril

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 24. Determinación del nivel de servicio tramo 2, método HCM 2010

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

Con base en el Cuadro 24 y teniendo en cuenta la Figura 14 se determina que el nivel de servicio para el primer tramo implementando la metodología del manual HCM 2010 es E

✚ Tramo 3: Estación “La española”-San Francisco (Piedecuesta)

Datos de entrada:

✓ Datos geométricos:

No. Carriles/sentido: 2

Ancho de carril: 3,2 m

Tipo de terreno: Plano

Distancia a obstáculos laterales: 0,2 m a ambos lados.

✓ Volumen de demanda: 3436 veh/h

✓ FFS Medido: No disponible

Cálculo FFS (Velocidad a flujo libre)

BBS= 80 km/h

$f_{LW} = 10,6$ km/h

$f_{LC} = 5,1$ km/h (interpolación)

TRD = 0 km/h

$$FFS = 80 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22 TRD^{0,84}$$

$$FFS = 80 - 10,6 - 3,4 - 3.22(0)^{0,84}$$

$$FFS = 64,3 \text{ [km/h]}$$

Ajuste del volumen de demanda

- ✓ Factor hora pico (FHMD): 0,83
- ✓ Número de carriles (una dirección): 2

✓ Ajuste del vehículo pesado:

PT (porcentaje de camiones): 8,27

PB (porcentaje de buses): 5,97

ET (Automóviles equivalentes de camiones): 1,5

EB (Automóviles equivalentes de buses): 1,5

ET, EB, valores obtenidos de la Tabla 22.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 8,27(1,5 - 1) + 5,97(1,5 - 1)} = 0,93$$

- ✓ Ajuste volumen de demanda

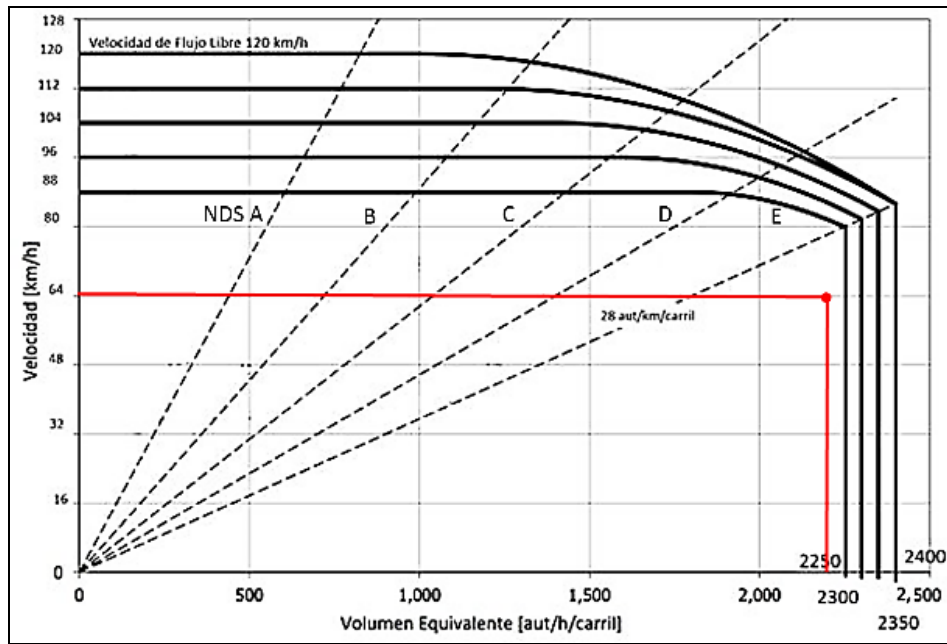
$$V_p = \frac{3436}{(0,83)(2)(0,93)(1)}$$

$V_p = 2223$ vehículos livianos/h/carril

Estimación de la velocidad media y de la densidad

- ✓ Estimación de la velocidad media. La estimación de la velocidad media no se puede realizar gráficamente ya que no existe una curva velocidad flujo que se adapte a las condiciones de velocidad de flujo libre estimada por lo tanto se asume la velocidad a flujo libre como la velocidad media.

Figura 15. Determinación de la velocidad media para el tramo 1



✓ Determinación de la densidad

$$D = \frac{2226}{64,3}$$

D=35 vehículos livianos/km/carril

Determinación del nivel de servicio

Cuadro 25. Determinación del nivel de servicio tramo 3, método HCM 2010

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

Teniendo en cuenta la Figura 15 y el valor obtenido para la densidad, el cual es 35 el NDS al tramo 3 corresponde a F.

4.4.4 Resultados. En el Cuadro 26 se encuentran recopilados los resultados obtenidos de nivel de servicio para cada uno de los tramos estudiados, al aplicar las metodologías especificadas en los manuales de capacidad de carreteras HCM 1994, HCM 2000 Y HCM 2010.

Cuadro 26. Resumen de valores obtenidos por cada método

Tramo	Método		
	HCM 1994	HCM 2000	HCM 2010
	Nivel de servicio		
I	F	F	F
II	F	E	E
III	F	F	F

5. CONCLUSIONES

- ✚ Al ejecutar el método HCM 1994 para el primer tramo ubicado desde el Puente de Provenza hasta el Retorno “La Turena” se calcula una relación de capacidad demanda de 1,3, para el segundo tramo desde el Retorno “La Turena” hasta la Estación de Metrolínea “La Españolita”, se calcula una relación de capacidad demanda de 1,1 y para el tercer tramo desde la estación “La Españolita” hasta San Francisco (Piedecuesta) se calcula una relación de capacidad demanda de 1,2, obteniendo así para los tres tramos, un nivel de servicio F.
- ✚ Al ejecutar el método HCM 2000 para el primer tramo ubicado desde el Puente de Provenza hasta el Retorno “La Turena” se calcula una densidad de 32 vehículos/km/ carril, obteniendo un nivel de servicio F, para el segundo tramo desde el Retorno “La Turena” hasta la Estación de Metrolínea “ La Españolita” se calcula una densidad de 28 vehículos/km/carril, obteniendo un nivel de servicio E y por último, para el tercer tramo desde la estación “La Españolita” hasta San Francisco(Piedecuesta) se calcula una densidad de 36 vehículos /km/ carril, obteniendo así, un nivel de servicio F.
- ✚ Al ejecutar el método HCM 2010 para el primer tramo ubicado desde el Puente de Provenza hasta el Retorno “La Turena” se calcula una densidad de 30 vehículos/km/ carril; para el segundo tramo desde el Retorno “La Turena” hasta la Estación de Metrolínea “ La Españolita” se calcula una densidad de 26 vehículos/km/carril, y por último, para el tercer tramo desde la estación “La Españolita” hasta San Francisco (Piedecuesta) se calcula una densidad de 35 vehículos /km/ carril, obteniendo así, para el tramo uno y el tramo tres un nivel de servicio F y para el tramo 2 un nivel de servicio E.
- ✚ Analizando los tres métodos, determinamos que utilizando el HCM 1994, la demanda es superior a la capacidad, por lo tanto, la mal llamada Autopista

Bucaramanga-Piedecuesta se encuentra dentro de un flujo inestable que se verá reflejado en un nivel de colapso donde el movimiento es casi nulo en algunos tramos de la vía, por otra parte, utilizando el HCM 2000 y el HCM 2010 los niveles de servicio del sistema muestran mejores resultados, sin embargo, el funcionamiento está cerca al límite de su capacidad y se encuentra próximo a un flujo inestable, donde la velocidad se ve reducida y en la circulación se torna compleja la libertad de maniobra.

- ✚ Observamos que para los métodos de estudio (HCM 1994, HCM 2000 y HCM 2010) se esperaban unas condiciones básicas como anchos mínimos de carril de 3.6 m, espacios libres laterales mínimos del hombro derecho de 1.8 m, separaciones laterales medias mínimas de 0.6 m, que el flujo de tráfico esté compuesto exclusivamente por automóviles de pasajeros, es decir, que no transiten vehículos pesados como camiones ni autobuses, 5 o más carriles para una dirección, terreno nivelado con pendientes no mayores al 2%, entre otras, sin embargo, esas condiciones básicas se tuvieron que adaptar a las reales ya que en América Latina no existen vías con características de Autopistas, y puntualmente en Colombia es notoria la insatisfacción de la población en cuanto a sus carreteras, algo que es realmente lamentable teniendo en cuenta que el estado de las carreteras en un país puede afectar el crecimiento económico y social del mismo.
- ✚ Inferimos que el principal factor diferencial entre los métodos lo percibimos al momento de hallar la velocidad de flujo libre, esta velocidad se fundamenta en una velocidad base que para el método HCM 1994 se establece teniendo en cuenta la velocidad de diseño (del proyecto), por otra parte, para el método HCM 2000, dicha velocidad base se selecciona dependiendo de la zona donde esté ubicada la autopista, si es rural se toma un valor de 120 km/h, o si es urbana se toma un valor de 110 km/h, y finalmente, para el método HCM 2010 se fija una velocidad base de 121,4 km/h, puesto que con este dato se

realizaron predicciones precisas en contraste con datos recopilados en el 2008, no obstante, como ya se había mencionado, esos valores se obtienen teniendo como referencia vías americanas, por ende, para adaptar los cálculos a las condiciones presentes en el proyecto se toma la velocidad de diseño en los tres métodos

- ✚ El nivel de servicio es un parámetro primordial para saber si la vía funciona adecuadamente, en este caso, según los resultados obtenidos, la vía no cumple las expectativas de una Autopista, por ende, se sugiere realizar modificaciones o ampliaciones, según la respectiva necesidad.
- ✚ Por último, es importante enfatizar en que la aplicación de los métodos descritos en el proyecto se da para verdaderas autopistas que están exentas de flujos conflictivos, con buenos sistemas de convergencia y divergencia, con intercambiadores eficientes en las intersecciones, con buenas especificaciones en cuanto a bermas, anchos de carril y separadores y algo tan fundamental como la sección vial constante a lo largo de su recorrido. Lo que aquí se presenta es un sistema vial altamente deficiente y mal llamado autopista Bucaramanga - Piedecuesta, que debe ser intervenida a lo menos en la construcción de sus paralelas y el carril semiexclusivo para Metrolínea. A pesar de esto, la aplicación de los métodos es válida, puesto que “castigó” el sistema con malos niveles de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, J. J. (2002). Diseño geométrico de vías ajustado al manual colombiano. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J. Ingeniería del tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Séptima edición. Alfaomega, México D.F. 1994.

Cal y Mayor R & Cardenas J; Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones; 8ª Edición. Alfaomega Grupo Editorial, S.A; México, D.F. 2007.

Diseño Geométrico de vías ajustado al Manual Colombiano, Universidad Nacional de Colombia "es.slideshare.net" Disponible en: http://es.slideshare.net/rafa_praes/disec3b1ogeomc3a9tricodevc3adasjohnjairoagudelo [citado en 2016-07-08]

Reyes Martínez Elva & Vargas Rodríguez Luz; Caracterización geométrica y de Tránsito del Sistema vial en el tramo comprendido entre Provenza y Piedecuesta en el área metropolitana de Bucaramanga, Tesis (Pregrado); Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2016.

TRB. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, Special Report 209. National Research Council, Washington, D.C. 1994.

TRB. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C. 2000.

TRB. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C. 2010.