

Maestría en Ingeniería Civil

Evaluación comparativa de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM - Versión 2000 y HCM - Versión 2010, y análisis geométrico, del Anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte – POZ norte, en la ciudad de Bogotá D.C.

Luis Guillermo Mojica González

Bogotá, D.C., Mayo 18 de 2018



Evaluación comparativa de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM - Versión 2000 y HCM - Versión 2010, y análisis geométrico, del Anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte – POZ norte, en la ciudad de Bogotá D.C.

Tesis para optar al título de magister en Ingeniería Civil, con énfasis en Tránsito y Transporte

**Dr. Santiago Henao Pérez
Director**

Bogotá, D.C., Mayo 18 de 2018



La tesis de maestría titulada *“Evaluación comparativa de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM - Versión 2000 y HCM - Versión 2010, y análisis geométrico, del Anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte – POZ norte, en la ciudad de Bogotá D.C.”*, presentada por Luis Guillermo Mojica González, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.

Director de la tesis
Dr. Santiago Henao Pérez

Jurado
Dra. Maritza Cecilia Villamizar Roperó

Jurado
Dra. Mónica Marcela Suárez Pradilla

Bogotá, D.C., Mayo 18 de 2018

Dedicatoria

*A mi esposa y mi hijo por su infinito amor,
a mi familia por su apoyo incondicional,
dedico este logro que es de ellos.*

Resumen

Con la expedición del decreto 043 de 2010, la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá D.C., adoptó el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte (POZ); por su parte, el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, elaboró los diseños de la malla vial arterial e intermedia del POZ Norte y evaluó su Nivel de Servicio utilizando la metodología del HCM (2000). Con la actualización del Manual de Capacidad de Carreteras a su versión (2010), se plantea la posibilidad de calificar el Nivel de Servicio con la metodología sugerida en dicho documento.

En este documento se evalúa la infraestructura propuesta, utilizando la metodología planteada en el capítulo 13 del HCM (2010), realizando el cálculo de nivel de servicio partiendo de los mismos datos de entrada de geometría y volúmenes vehiculares empleados en la evaluación anterior, para luego analizar y concluir de los resultados.

Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que las diferencias encontradas dependen de la aplicación de la metodología aplicada y el parámetro de evaluación utilizado; igualmente, queda claro que la turbulencia generada en las zonas de convergencia y divergencia de una vía impacta de manera significativa en el comportamiento del tráfico y el nivel de servicio.

Palabras clave: HCM (2010), HCM (2000), IDU (2011), POZ norte, Nivel de Servicio, Convergencia, Divergencia.

Abstract

With the issuance of Decree 043 of 2010, the District Planning Department of Bogotá D.C. adopted the Plan of North Zoning (POZ); on the other hand, the Urban Development Institute - IDU, designs the arterial and intermediate streets of the POZ Norte and evaluated the Service Level using the HCM (2000) methodology. With the update of the Highway Capacity Manual to (2010) version, there is the possibility of qualifying the Service Level with the methodology suggested in said document.

This document evaluates the proposed infrastructure, using the methodology proposed in chapter 13 of the HCM (2010), performing the calculation of service level based on the same input data of geometry and vehicle volumes used in the previous evaluation, to then analyze and conclude the results.

Based on the results, it was concluded that the differences depend on the application of the methodology applied and the evaluation parameter used; likewise, it is clear that the turbulence generated in the zones of convergence and divergence of a road has a significant impact on traffic behavior and Level of Service.

Keywords: HCM (2010), HCM (2000), IDU (2011), POZ Norte, Level of Service, Merge, Diverge.

Índice General

Introducción.....	20
1. Marco Teórico.....	25
1.1. Manual de capacidad de carreteras HCM (2010).....	25
1.1.1. Antecedentes.....	25
1.1.2. Aspectos generales de las rampas.....	27
1.1.3. El Nivel de Servicio (NS).....	29
1.2. Cálculo de nivel de servicio – HCM 2010.....	32
1.2.1. Definición de datos de entrada.....	32
2. Metodología.....	40
2.1. Instrumentos para la recolección de la información.....	40
2.2. Etapas de desarrollo.....	40
3. Estudio de tránsito IDU.....	42
3.1. Área de Influencia.....	42
3.1.1. Delimitación del POZ Norte.....	42
3.1.2. Malla vial arterial e intermedia incluida en el POZ norte.....	44
3.1.3. Descripción Anillo 1.....	44
3.1.4. Sistema de Transporte Público.....	51
3.1.5. Macromodelación del anillo 1.....	52
3.1.6. Microsimulación de alternativas.....	56
3.1.7. Análisis de capacidad y nivel de servicio.....	59
4. Caso de estudio HCM 2010.....	62
4.1. Intersección Avenida Boyacá x Avenida San José (Calle 170).....	63
4.1.1. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.....	63
4.1.2. Avenida Boyacá sentido Norte - Sur.....	66
4.1.3. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte.....	70
4.1.4. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.....	73
4.1.5. Troncal Calle 170.....	76
4.1.6. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte.....	79
4.1.7. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.....	83

4.1.8.	Avenida Boyacá sentido Sur - Norte	86
4.1.9.	Avenida Boyacá sentido Norte - Sur	89
4.1.10.	Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente	92
4.2.	Intersección Autopista Norte X Avenida El Polo.....	95
4.2.1.	Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	95
4.2.2.	Autopista Norte sentido Norte - Sur.....	99
4.2.3.	Autopista Norte sentido Norte - Sur.....	103
4.2.4.	Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	107
4.2.5.	Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	110
4.2.6.	Autopista Norte Sentido Sur - Norte	113
4.2.7.	Autopista Norte sentido Sur – Norte.....	117
4.2.8.	Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	120
4.2.9.	Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	123
4.2.10.	Autopista Norte sentido Sur - Norte.....	127
4.2.11.	Autopista Norte sentido Norte - Sur.....	130
4.2.12.	Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	133
4.2.13.	Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	137
4.2.14.	Autopista Norte sentido Norte - Sur.....	140
4.3.	Resultados Estudio de Tránsito IDU (HCM2000).....	143
4.4.	Resultados metodología HCM2010	144
4.5.	Comparativo de Resultados.....	145
5.	Conclusiones	147
6.	Referencias Bibliográficas	149

Índice de Tablas

Tabla 1. Malla vial arterial e intermedia del POZ Norte	20
Tabla 2. Intersecciones de los anillos 1, 2A y 2B del POZ Norte.....	21
Tabla 3. Criterios de Nivel de Servicio segmentos de convergencia y divergencia para autopistas	31
Tabla 4. PCEs para vehículos pesados en segmentos de terreno general	35
Tabla 5. Modelos para determinar <i>PFM</i>	36
Tabla 6. Modelos para determinar <i>PFD</i>	37
Tabla 7. Capacidad de la rampa de autopista (pc / h).....	38
Tabla 8. Capacidad de las conexiones de rampa de alta velocidad en autopistas de varios carriles y carreteras C-D (pc / h).....	38
Tabla 9. Capacidad de la Rampa de la Autopista	39
Tabla 10. Estimación de población por planes parciales.....	45
Tabla 11. Clasificación vial adoptada en la red de simulación.....	53
Tabla 12. Resumen atributos de red.....	53
Tabla 13. Volúmenes en la hora pico escenario 2020. Intersección Av. Boyacá por Av. San José (Simulación).....	57
Tabla 14. Volúmenes en la Hora Pico Escenario 2020, Intersección Autopista Norte Por Av. Polo (Simulación).....	57
Tabla 15. Comparación de volúmenes red año 2020.....	59
Tabla 16. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas.....	60
Tabla 17. Resultados simulación red año 2020	60
Tabla 18. Comparación simulación en red e individual año 2020.....	60
Tabla 19. Parámetros Avenida Calle 170 sentido occidente – oriente.....	64
Tabla 20. Parámetros Avenida Boyacá sentido Norte - Sur	67
Tabla 21. Parámetros Avenida Boyacá sentido sur-norte	70
Tabla 22. Parámetros Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente	73
Tabla 23. Parámetros Troncal Calle 170.....	76
Tabla 24. Parámetros Avenida Boyacá sentido Sur – Norte	80
Tabla 25. Parámetros Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.....	83
Tabla 26. Parámetros Avenida Boyacá sentido Sur-Norte	86

Tabla 27. Parámetros Avenida Boyacá sentido Norte - Sur	89
Tabla 28. Parámetros Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente.....	92
Tabla 29. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	96
Tabla 30. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur	99
Tabla 31. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur	104
Tabla 32. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	107
Tabla 33. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	111
Tabla 34. Parámetros Autopista Norte Sentido Sur - Norte.....	114
Tabla 35. Parámetros Autopista Norte sentido Sur – Norte.....	117
Tabla 36. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	120
Tabla 37. Parámetros Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente	124
Tabla 38. Parámetros Autopista Norte sentido Sur-Norte	127
Tabla 39. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur	130
Tabla 40. Parámetros Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	134
Tabla 41. Parámetros Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente	137
Tabla 42. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur	140
Tabla 43. Resultados simulación año 2020.....	143
Tabla 44. Resultados Metodología Hcm 2010 – Intersección Avenida Boyacá x Avenida San José.....	144
Tabla 45. Comparativo de resultados	145

Índice de Figuras

Figura 1. Áreas de influencia de la rampa.....	28
Figura 2. Diagrama de flujo para el análisis de las uniones de rampas de autopistas .	34
Figura 3. Anillo 1 - Plan Vial POZ norte	43
Figura 4. Malla vial POZ Norte.....	44
Figura 5. Planes parciales correspondientes a los diferentes Anillos del POZN.....	45
Figura 6. Esquema Vial Anillo 1.....	47
Figura 7. Perfil V1 Avenida Boyacá entre Av. San José y Av. El Polo.....	47
Figura 8. Perfil V – 3 Av. Polo entre Laureano Gómez y Paseo Libertadores	48
Figura 9. Perfil V-3 Av. Laureano Gómez entre Av. San José y Av. El Polo.....	48
Figura 10. Viajes producidos por cada plan parcial en transporte público y privado	49
Figura 11. Zonificación del POZN.	50
Figura 12. Trazado del Tren de cercanías y estaciones propuestas	51
Figura 13. Rutas Alimentadoras propuestas	52
Figura 14. Red vial adicionada o modificada para el escenario 2020.....	54
Figura 15. Volumen de vehículos livianos en el Anillo 1	55
Figura 16. Relación Volumen Capacidad (v/c) por tramos	55
Figura 17. Esquema de resultados de flujos en las intersecciones	56
Figura 18. Red a modelar año 2020.....	58
Figura 19. Calibración de la red año 2020	59
Figura 20. Intersección Avenida Boyacá x Avenida San José (Calle 170)	63
Figura 21. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente	63
Figura 22. Avenida Boyacá sentido Norte - Sur	66
Figura 23. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte	70
Figura 24. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.....	73
Figura 25. Troncal (Calle 170)	76
Figura 26. Avenida Boyacá (Sur-Norte)	79
Figura 27. Avenida Calle 170 (Oriente – Occidente)	83
Figura 28. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte	86
Figura 29. Avenida Boyacá sentido Norte - Sur	89
Figura 30. Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente.....	92

Figura 31. Intersección Autopista Norte X Avenida El Polo.....	95
Figura 32. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	95
Figura 33. Autopista Norte sentido Norte - Sur	99
Figura 34. Autopista Norte sentido Norte - Sur	103
Figura 35. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	107
Figura 36. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	110
Figura 37. Autopista Norte Sentido Sur - Norte.....	113
Figura 38. Autopista Norte sentido Sur – Norte.....	117
Figura 39. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.....	120
Figura 40. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	123
Figura 41. Autopista Norte sentido Sur - Norte	127
Figura 42. Autopista Norte sentido Norte - Sur	130
Figura 43. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	133
Figura 44. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.....	137
Figura 45. Autopista Norte sentido Norte - Sur	140

Abreviaturas y Siglas

Siglas

ATC: Asociación Técnica de Carreteras

HCM: Manual de capacidad de carreteras. (Highway Capacity Manual) por sus siglas del inglés).

IDU: Instituto de Desarrollo Urbano

POZ: Plan de Ordenamiento Zonal del Norte

SDP: Secretaría Distrital de Planeación

ZAT: Zonas de análisis de transporte

Abreviaturas

ATS: Velocidad promedio de viaje

ATSd: Velocidad promedio de viaje direccional

BFFS: Velocidad base de flujo libre

C: Capacidad

D: Densidad

D_j: Densidad de embotellamiento

D_o: Densidad optima

ER: Equivalente de número de vehículos por vehículo recreacional

ET: Equivalente de número de vehículos por camión

FHP: Factor de hora pico

FFS: Velocidad de flujo libre

FFSd: Velocidad de flujo libre direccional

fHV: Factor de ajuste de vehículos pesados

Hr: Hora

H_p: Caballo de fuerza

Km: Kilómetro

NS: Nivel de servicio

L: Longitud de segmento de la carretera

Lb: Libra

M: Metro

MOE: Medida de efectividad

NCHRP: National Cooperative Highway Research Program

S: Segundos

S: Velocidad promedio de viaje

SMT: Velocidad media temporal

SME: Velocidad media espacial

SFM: Velocidad principal de tránsito medida en campo

So: Velocidad crítica

ta: Tiempo promedio de viaje

v: Razón de flujo

V: Volumen horario

Vd: Volumen horario direccional

Vo: Volumen horario opuesto

Vm: Volumen máximo

Veh: Vehículos

Glosario

En un estudio de Capacidad y Niveles de Servicio intervienen múltiples variables cuyas definiciones son indispensables para la adecuada comprensión del presente estudio. Por lo anterior, a continuación se presenta un listado básico de conceptos extraído textualmente del Diccionario Técnico vial de la Asociación Técnica de Carreteras, a fin de introducir al lector en el tema propuesto. (ATC, 2002, p.151-161).

Autovía: Carretera con limitación de accesos y cuyo uso puede ser prohibido a ciertas clases de usuarios y de vehículos. *“Carretera que no reuniendo todos los requisitos de las autopistas tiene calzadas separadas para cada sentido de circulación y limitación de accesos a propiedades colindantes. No cruzarán a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni serán cruzadas a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna”.*

Aforo direccional: Aforo que permite individualizar los diferentes movimientos de tráfico que pasan por una sección según su destino (por ejemplo, giros en una intersección).

Área de estudio: Todos los grupos combinados de zonas de análisis de tráfico que se establecen con el fin de estudiar las corrientes de circulación.

Arteria principal: Vía urbana importante destinada principalmente a conectar barrios alejados.

Autopista Interurbana: Autopista que conecta núcleos urbanos o industriales situados a distancias relativamente grandes.

Carretera de calzada única, vía de calzada única: Carretera o vía cuyos carriles no están separados por medianas o barrera física, sino únicamente por líneas longitudinales.

Carretera de dos, tres, cuatro carriles; vía de dos, tres, cuatro carriles: Carretera o vía acondicionada para permitir el paso simultáneo de dos, tres, cuatro vehículos por la misma sección.

Carretera [o vía] con dos, tres, cuatro calzadas separadas: Carretera o vía en la que determinados carriles están separados por una, dos, tres medianas o isletas distintas. Por lo tanto tiene dos, tres, cuatro calzadas distintas.

Calzada lateral, vía de servicio: Calzada paralela a una carretera de acceso limitado y cuyo objeto es conducir el tráfico a los accesos (y servir a los edificios y fincas colindantes).

Capacidad básica: Intensidad máxima teórica de vehículos ligeros que podrían atravesar una sección transversal dada de una vía o carretera, si las características geométricas de ésta y las condiciones de circulación fuesen ideales.

Capacidad, capacidad posible: Intensidad máxima de vehículos, normalmente expresada en vehículos (o personas) por hora, que puede atravesar un punto o una sección transversal dada de un carril o carretera de características uniformes, teniendo en cuenta las condiciones reales imperantes en la geometría, la circulación y la regulación del tráfico en el instante considerado.

Carretera local: Vía destinada principalmente a dar acceso a las viviendas o propiedades colindantes en una zona residencial.

Concentración de tráfico, densidad de tráfico: Número de vehículos por unidad de longitud de carretera, calzada o carril en un instante dado, excluyendo los vehículos estacionados.

Cruce: Encuentro de dos o más vías o carreteras.

Cruces a nivel: en las que no existe separación de nivel entre las corrientes de tráfico en el punto de encuentro.

Cruces a desnivel o a distinto nivel: en las que algunas corrientes de tráfico se cruzan a distinto nivel.

Desvío temporal: Itinerario alternativo del itinerario principal, que permite al tráfico evitar un tramo congestionado u obstruido temporalmente (por ejemplo, por obras).

Estudio del transporte y uso del suelo: Estudio de la función transporte desde sus distintos puntos de vista (generación, distribución, asignación, modos, etc.) y su relación con el tipo de actividades y usos del suelo de la zona.

Explotación vial, gestión del tráfico: Conjunto de actuaciones tendentes a una mejor adaptación permanente de la oferta y de la demanda de tráfico a la infraestructura vial existente.

Intensidad [de tráfico]: Número de vehículos que pasan por una sección transversal dada de una vía o carretera en la unidad de tiempo.

Intensidad horaria de proyecto, intensidad de la hora 30: Intensidad de circulación, expresada en vehículos por hora o en unidades de vehículos ligeros por hora, en la que se basa el proyecto y dimensionamiento de la vía o carretera. Suele tomarse la intensidad de la "hora 30" (intensidad sólo superada en el 30 por 100 del tiempo) en un diagrama de intensidades clasificadas.

Intensidad punta, tráfico punta: Intensidad máxima registrada durante un período dado (por ejemplo, intensidad punta horaria, diaria, mensual).

Intersección: Encuentro a nivel de dos (o más) corrientes de circulación. *“Zona común a dos o varias carreteras que se encuentran o se cortan al mismo nivel, y en la que se incluyen los ramales que puedan utilizar los vehículos para el paso de una a otra carretera”.*

Nivel de servicio: Medida cualitativa que describe las condiciones operativas dentro de una corriente de tráfico; generalmente se caracteriza por factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones de la circulación, el confort, la comodidad y la seguridad. *“Medida cualitativa, descriptiva de las condiciones de circulación de una corriente de tráfico; generalmente se describe en función de ciertos factores como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, la comodidad y conveniencia, y la seguridad”.*

Pendiente: Inclinación longitudinal negativa de una carretera (descendente), expresada como un porcentaje. *“Inclinación de una rasante descendente en el sentido de avance”.*

Rampa: Inclinación longitudinal positiva de una carretera (ascendente), expresada como un porcentaje. *“Inclinación de una rasante ascendente en el sentido de avance”.*

Relación intensidad-velocidad: Representación de la circulación en forma de relación matemática entre la intensidad y la velocidad en una sección transversal dada de una vía o carretera.

Tramo: Longitud de vía o carretera entre dos secciones transversales de su trazado. *“Cualquier porción de una carretera comprendida entre dos secciones transversales cualesquiera”.*

Tramo de unión: Tramo, vía o carretera entre dos intersecciones o enlaces.

Travesía: Tramo de carretera comprendido en el interior de una población. *“Parte de tramo urbano en la que existan edificaciones consolidadas al menos en las dos terceras partes de su longitud y un entramado de calles al menos en uno de los márgenes”.*

Trazado en planta: Proyección sobre un plano horizontal del trazado de la carretera y, en particular, de su eje.

Variante: Tramo de carretera exterior a una población que se une en sus extremos a una carretera que atraviesa dicha población, destinado a absorber el tráfico de tránsito.

Velocidad libre: Velocidad normalmente adoptada por el conductor de un vehículo medio cuando no hay ninguna restricción a la circulación.

Velocidad [individual] instantánea [local]: Velocidad de un vehículo en el instante en que atraviesa una determinada sección transversal de una vía o carretera.

Velocidad [individual] de recorrido: Cociente entre la longitud de un itinerario y el tiempo requerido por un vehículo para recorrer dicho itinerario (se incluyen periodos de demora).

Velocidad media de marcha: Cociente entre la longitud de un tramo de vía o carretera y el tiempo requerido por un vehículo para recorrerlo.

Velocidad de entrada: Velocidad a la que deben circular los vehículos que deseen entrar en una carretera por un carril de entrada para integrarse en una corriente principal sin interferir de manera sensible con los vehículos que circulen por ella (causar demora al tráfico de la carretera principal).

Velocidad de salida: Velocidad a la que deben circular los vehículos que deseen salir de una carretera por un carril de salida para abandonar una corriente principal sin interferir de manera sensible con los vehículos que circulen por ella (causar demora al tráfico de la carretera principal).

Velocidad de régimen en rampa: Velocidad máxima que un vehículo puede mantener al ascender una rampa de pendiente constante y de longitud ilimitada. Depende, por una parte, de las características del vehículo y de su carga y, por otra parte, de la pendiente.

Vía de descongestión: Vía construida en poblado para permitir al tráfico evitar las zonas congestionadas u otros obstáculos a la circulación.

Introducción

Según el documento técnico de soporte del “Plan de Ordenamiento Zonal Borde Norte Bogotá D.C.”, la autopista es el eje vial más importante de la zona norte de Bogotá, en razón a que supone la conexión entre la ciudad con el norte de la región y del país. No obstante lo anterior, la ausencia de vías carreteables y la falta de conectividad interna, ha convertido a la zona norte en una de las áreas con mayor demanda de tráfico. Esta problemática se incrementa debido a las condiciones de sobrecarga vehicular, que propician la congestión de la autopista norte, limitando la movilidad de acceso a los barrios y predios de la región. (SDP, 2010, p. 15-17).

Con base en los anteriores planteamientos, mediante decreto 043 de 2010, la Administración Distrital a través de la Secretaría Distrital de Planeación, adoptó el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte (POZ), que tiene como objeto “(...) expedir un marco normativo para la adopción de los instrumentos de planeamiento y de gestión del suelo que se desarrollen en su ámbito, determinar la manera como los beneficiarios de los aprovechamientos urbanísticos aportarán para la dotación de la infraestructura pública necesaria para su desarrollo, y establecer los parámetros para que la Administración Distrital adelante la gestión pública relacionada con el mismo.” (Decreto 043 de 2010, Art. 1)

En cumplimiento de las disposiciones establecidas en la norma, el IDU adelantó los diseños de la malla vial arterial e intermedia del POZ Norte (Ver Tabla 1). (Decreto 043 de 2010, Art. 26).

Tabla 1. Malla vial arterial e intermedia del POZ Norte

Malla vial arterial	Malla vial intermedia
Avenida Longitudinal de Occidente	Avenida Ciudad de Cali (Avenida Guaymaral - Limite norte POZ)
Avenida Paseo Los Libertadores	Avenida Jorge Uribe Botero (Avenida Tibabita – Avenida El Polo)
Avenida San José	Avenida El Jardín
Avenida Laureano Gómez	Avenida Las Villas (Avenida Arrayanes – Avenida Jardín)

Malla vial arterial	Malla vial intermedia
Avenida Guaymaral	Avenida Low Murtra (Avenida Jardín – Avenida ALO)
Avenida Alberto Lleras Camargo	
Avenida Jorge Uribe Botero (Avenida Tibabita – Límite sur POZ Norte)	
Avenida San Antonio	
Avenida Santa Bárbara	
Avenida Tibabita	
Avenida Boyacá (Avenida San José hasta Avenida Polo)	
Avenida El Polo (Incluye ancho de las líneas de alta y media tensión)	
Avenida Las Villas (Avenida Arrayanes - Límite sur POZ Norte)	
Avenida Los Arrayanes	
Avenida Low Murtra (Avenida Polo – Avenida Jardín)	

Fuente: (Decreto 043 de 2010, Art. 22 y 23).

Para definir la infraestructura vial en función de las demandas de tráfico presentes y futuras en cada una de las vías e intersecciones; siguiendo las indicaciones de la metodología HCM (2000), el IDU realizó los estudios de tránsito y transporte con proyecciones de tráfico para los años 2020 y 2025, a fin de determinar la capacidad y niveles de servicio y sus respectivas alternativas de solución de las intersecciones de los anillos 1, 2A y 2B, y (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Intersecciones de los anillos 1, 2A y 2B del POZ Norte

Anillo 1: Avenida Laureano Gómez, Avenida Polo y Avenida Boyacá	Anillo 2A: Avenida Laureano Gómez, Avenida Jardín y Avenida Low Murtra	Anillo 2B: Avenida Laureano Gómez, Avenida Guaymaral y Avenida Low Murtra
a. Avenida Laureano Gómez de la Avenida San Juan Bosco (AC 170) a la Avenida El Polo.	a. Avenida Laureano Gómez de la Avenida El Polo a la Avenida El Jardín.	a. Avenida Laureano Gómez de la Avenida El Jardín a la Avenida Guaymaral.
b. Avenida El Polo de la Avenida Laureano Gómez a la Avenida Boyacá.	b. Avenida El Jardín de la Avenida Laureano Gómez a la Avenida Low Murtra.	b. Avenida Guaymaral de la Avenida Laureano Gómez a la Avenida Low Murtra.
c. Avenida Boyacá de la Avenida San José (AC 170) a la Avenida El Polo.	c. Avenida Low Murtra de la Avenida El Polo a la Avenida El Jardín.	c. Avenida Low Murtra de la Avenida Guaymaral a la Avenida El Jardín.
d. Intersección a desnivel Avenida El Polo por Avenida Laureano Gómez.	d. Avenida Tibabita desde la Avenida Laureano Gómez a la Avenida Boyacá.	d. Intersección a desnivel Avenida Paseo de los Libertadores por Avenida

Anillo 1: Avenida Laureano Gómez, Avenida Polo y Avenida Boyacá	Anillo 2A: Avenida Laureano Gómez, Avenida Jardín y Avenida Low Murtra	Anillo 2B: Avenida Laureano Gómez, Avenida Guaymaral y Avenida Low Murtra
		Guaymaral por Avenida Laureano Gómez.
e. Intersección a nivel (tipo glorieta) Avenida El Polo por Avenida Santa Bárbara.	e. Intersección a desnivel Avenida Laureano Gómez por Avenida El Jardín.	e. Intersección a desnivel Avenida Guaymaral por Avenida Low Murtra.
f. Intersección a desnivel Avenida Paseo de los Libertadores por Avenida El Polo.	f. Intersección a nivel (tipo glorieta) Avenida Low Murtra por Avenida El Jardín	
g. Intersección a nivel (tipo glorieta) Avenida El Polo por Avenida Las Villas.		
h. Intersección a desnivel Avenida El Polo por Avenida Boyacá.		
i. Intersección a nivel (tipo glorieta) Avenida Tibabita por Avenida Boyacá.		
j. Intersección a desnivel Avenida San José por Avenida Boyacá.		

Fuente: (Decreto 043 de 2010, Art. 25).

En reciprocidad con lo anterior y una vez analizadas las intersecciones modeladas por el IDU, se determinó la importancia de evaluar la capacidad y nivel de servicio de las intersecciones de la Avenida Boyacá con Avenida San José (calle 170) y la Avenida El Polo con Autopista Norte, toda vez que le permiten al Anillo 1 del POZ Norte articular con la malla vial existente de la ciudad.

En el margen de los anteriores planteamientos y teniendo en cuenta que el Manual de Carreteras HCM actualizó su versión 3 en el año 2010, para el desarrollo del presente trabajo se formula el siguiente interrogante:

¿En qué aspectos se modifica la calificación de la capacidad y nivel de servicio de la infraestructura vial del Anillo 1 del POZ Norte, realizada por el IDU utilizando la metodología del manual HCM versión 2000, si se analiza con las directrices del manual HCM versión 2010?

En coherencia con el interrogante enunciado, el presente trabajo se planteó como objetivo general, “Analizar y evaluar el nivel de servicio de las soluciones viales planteadas en el Anillo 1 del POZ NORTE, utilizando la metodología del HCM versión 2010, y compararlo con los resultados obtenidos por el IDU utilizando la

metodología HCM-2000". A partir del objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Realizar la revisión y análisis del estudio de tránsito y transporte del anillo vial 1 del POZ NORTE versión 3 de Marzo de 2011, con el HCM versión 2000.
- Realizar el cálculo del nivel de servicio de dos (2) intersecciones de la malla vial propuesta en el anillo vial 1 del POZ Norte, a partir de los datos de tránsito reportados en el informe del estudio de tránsito y transporte del anillo vial 1 del POZ NORTE versión 3 de Marzo de 2011 realizado por el IDU, utilizando la metodología recomendada en el HCM-2010.
- Análisis de resultados y recomendaciones de posibles ajustes geométricos.

De conformidad con los objetivos planteados, el presente trabajo se desarrolla a través de los siguientes capítulos.

En el Capítulo I, se presentan el marco teórico, con los principales aspectos del Manual de Capacidad de Carreteras HCM (2010) para el cálculo del nivel de servicio en zonas de convergencia y divergencia, y se exponen las tablas y fórmulas utilizadas para la calificación de la infraestructura evaluada.

En el Capítulo II, se define la metodología utilizada en el desarrollo del estudio, recolección de información, análisis preliminar de la misma, análisis de nivel de servicio con el HCM (2000) y HCM (2010), análisis comparativo de resultados y conclusiones.

En el Capítulo III, se resume el análisis desarrollado por el IDU dentro del planteamiento y evaluación de la malla vial del anillo 1 del POZ Norte, se delimita el área de influencia, se define la malla vial en cuanto a trazado y tipología de las vías, se determinan los volúmenes vehiculares y se realiza el cálculo del nivel de servicio con la metodología HCM (2000).

En el Capítulo IV, se presentan los cálculos realizados para el caso de estudio, tomando como base la geometría vial trazada y los volúmenes vehiculares calculados dentro del estudio desarrollado por el Instituto. Dicho cálculos se realizaron con la metodología del HCM (2010). Se presenta igualmente la comparación de los resultados obtenidos con los presentados en el informe del estudio de tránsito del IDU.

En el Capítulo V, se presentan las conclusiones del trabajo y en el Capítulo VI las referencias bibliográficas utilizadas.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, el presente documento busca generar una reflexión acerca de la calificación del nivel de servicio obtenida por el IDU (2011) para la infraestructura del Anillo 1 del POZ Norte, utilizando la metodología del manual HCM versión 2000 y la calificación que se obtiene utilizando la metodología del manual HCM versión 2010; contrastando los resultados alcanzados con cada metodología, utilizando los mismos datos de entrada en cuanto a geometría y volúmenes de tránsito.

1. Marco Teórico

En el presente capítulo se examinan los principales aspectos que caracterizan el Manual de Capacidad de Carreteras HCM (2010), como marco de referencia para futuras aplicaciones en el área de la infraestructura vial.

Para ello en primera instancia se esbozan los antecedentes del manual HCM, seguidamente se definen las principales características de las rampas y finalmente se describe el procedimiento para determinar la capacidad y el nivel de servicio de rampas con tramos de convergencia y divergencia.

1.1. Manual de capacidad de carreteras HCM (2010)

El Manual de Capacidad de Carreteras HCM (2010) proporciona información en varios niveles de detalle, para ayudar a los usuarios comprender los conceptos, metodologías y posibles aplicaciones en estudios relacionados con la infraestructura vial en Colombia.

1.1.1. Antecedentes.

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) de la Transportation Research Board (TRB por sus siglas en inglés) de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos de América, proporciona métodos y técnicas de análisis para estimar la capacidad y determinar el nivel de servicio de una infraestructura vial, incluidas las vías, las intersecciones y la infraestructura para el tránsito de bicicletas y peatones. (HCM, 2000, p. 1-1 – 1-3)

En su primera edición, el HCM-1950 se convierte en manual de referencia para estimar la capacidad de diversos tipos de carretera de Estados Unidos, estableciendo conceptos como: Capacidad Base, Capacidad Posible y Capacidad Práctica que representan la capacidad bajo condiciones de conducción ideal, predominante y razonable, respectivamente.

Posteriormente, el HMC-1965 introduce el concepto de Nivel de Servicio, estableciendo calificaciones desde A hasta F. Este nuevo concepto introduce las bases para determinar la adecuación de la infraestructura de transporte desde las perspectivas de planificación, diseño y operaciones.

En la edición de 1985, junto con sus actualizaciones de 1994 y 1997, se realizan cambios en el manual en lo relativo a los métodos para estimación de la capacidad y de la calidad de servicio ofrecido para las carreteras, optimizando el concepto de nivel de servicio e incorporando capítulos referentes a los peatones y ciclistas.

El HCM-2000, representa una revisión y expansión significativa del material proporcionado en ediciones anteriores. Además de incluir conceptos y valores predeterminados estimados para su uso en el nivel de planificación, presenta técnicas computacionales, pautas para la evaluación de la infraestructura vial y modelos alternativos de análisis para diferentes sistemas dependiendo de su complejidad.

El HCM-2010 presenta mejoras significativas en la evaluación del tráfico y los efectos ambientales para los proyectos de carreteras. Entre sus modificaciones proporciona un enfoque multimodal integrado para el análisis y la evaluación de las calles urbanas desde los puntos de vista de los conductores de automóviles, pasajeros en tránsito, ciclistas y peatones; aborda la aplicación adecuada del análisis de micro simulación y la evaluación de esos resultados; examina la gestión activa del tráfico en relación con la demanda y la capacidad; explora herramientas específicas y tablas de volumen de servicio generalizadas, entre otros aspectos. HCM (2010, Cap. 13.)

Desde su primera edición, el Manual de capacidad, HCM por sus siglas en inglés, ha sido el principal referente para evaluar la infraestructura vial y ha incluido en sus actualizaciones los avances más relevantes de los estudios e investigaciones realizadas por la TRB. Por ello, cuando se propuso el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte POZ Norte se utilizó la versión 2000.

1.1.2. Aspectos generales de las rampas.

A continuación se examinarán las principales características de capacidad de rampas en autopistas para maniobras de divergencia y convergencia.

Definición: Una rampa es un tramo de vía que proporciona una conexión entre dos instalaciones de la carretera. Dentro de las instalaciones conectadas por una rampa se encuentran: autopistas, autopistas multicarril, autopistas de dos carriles, calles suburbanas y urbanas.

En las autopistas, todos los movimientos de entrada y salida se realizan en rampas diseñadas para facilitar la entrada y salida de los vehículos de la corriente de tráfico de la autopista. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-1)

Componentes: Una rampa se compone de los siguientes elementos: la unión de la rampa con la autopista, la unión de la autopista con la rampa y la calzada de la rampa.

De acuerdo con lo anterior, una rampa se diseña con el propósito de permitir la unión o separación de un flujo vehicular a altas velocidades, procurando minimizar la afectación del tráfico de la autopista contigua.

Las características geométricas de la unión de una rampa con la autopista o viceversa pueden variar en longitud; tipo y cantidad de carriles de aceleración o desaceleración; velocidad a flujo libre (FFS) tanto de la rampa como de la autopista en las proximidades de la unión; distancias de visibilidad, proximidad de otras rampas y otros elementos que influyen en las maniobras de convergencia y divergencia. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-1)

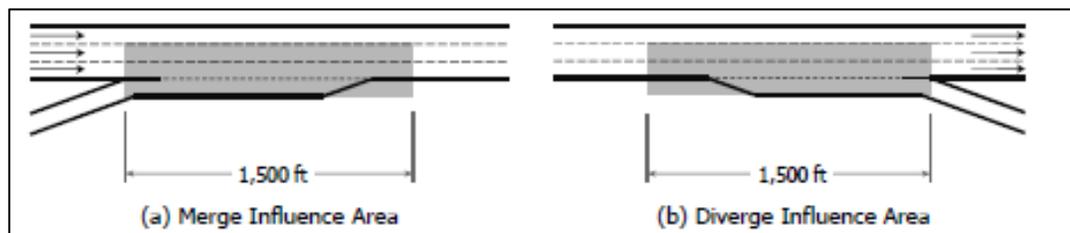
Características operacionales: Las rampas y los cruces de rampas no operan independientemente de las autopistas que conectan. Por lo tanto, las condiciones de operación en las autopistas principales pueden afectar las operaciones en las uniones de la rampa con la autopista y viceversa. No obstante, para operaciones

más estables, los estudios han demostrado que los impactos operacionales de las uniones de autopistas en rampa son más localizados. Dentro de este contexto, es preciso tener en cuenta las características operativas dentro de un área de influencia. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-2)

Para las rampas de la derecha, el área de influencia de la rampa incluye los carriles de aceleración y los carriles 1 y 2 de la autopista a una distancia de 1.500 pies aguas abajo del punto de convergencia. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-3)

Para rampas descendentes a la derecha, el área de influencia de la rampa incluye los carriles de desaceleración y los carriles 1 y 2 de la autopista a una distancia de 1.500 pies aguas arriba del punto de divergencia. La Figura 1 ilustra la definición de las áreas de influencia de la rampa (rampas derechas). (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-3)

Figura 1. Áreas de influencia de la rampa



Fuente: HCM (2010). Cap. 13, p.13-3

La unión de la rampa y la autopista genera turbulencias en el tráfico del tronco principal, tanto en la convergencia como en la divergencia, ya que se genera un aumento en las tasas de cambio de carril, generado por la misma maniobra de entrada o salida al flujo principal. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-3)

Dentro de este contexto, el área de influencia de la rampa experimenta una tasa más alta de cambio de carril que la normalmente se presenta en otras partes de la autopista. En las rampas de salida, la maniobra básica es una divergencia: una única corriente de tráfico que se separa en dos corrientes. Los vehículos que salen deben ocupar los carriles adyacentes a la rampa de salida (Carril 1 para una rampa

de salida a la derecha de un solo carril). En este sentido, a medida que los vehículos se acercan a la rampa de salida deben moverse hacia la derecha, esto hace que los otros vehículos de la autopista se redistribuyan hacia la izquierda, a fin de evitar la turbulencia del área de divergencia inmediata. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-3)

De conformidad con lo anterior, se deduce que las interacciones de los vehículos son dinámicas en las áreas de influencia de la rampa. Dentro de estos lineamientos se advierte en primera instancia, que la intensidad del flujo de la rampa influye en el comportamiento de los vehículos de la autopista y en segunda instancia, que la congestión general de la autopista también puede limitar el flujo de la rampa, causando el desvío a otros intercambios o rutas. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-3)

Condiciones básicas: Las condiciones básicas para aplicar la metodología del Capítulo 13 del HCM 2010 son: (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-4)

- Sin vehículos pesados,
- Ancho de carril = 12 pies,
- Espacio lateral adecuado (≥ 6 pies)
- Usuarios de la carretera familiarizados con la instalación ($f_p = 1.00$).

1.1.3. El Nivel de Servicio (NS).

El nivel de servicio en un punto de divergencia o convergencia, se define en términos de densidad como una maniobra estable, para los niveles entre A y E. Un resultado de nivel de servicio F se presenta cuando la demanda de la autopista supera la capacidad del segmento de la autopista río arriba (divergencia) o río abajo (convergencia), o en el caso que la demanda de la rampa exceda la capacidad de la misma. (HCM, 2010, Cap. 13, p.13-4)

- **NS A:** Existen operaciones no restringidas y la densidad es lo suficientemente baja para permitir una convergencia suave o divergencia con muy poca turbulencia en el flujo de tráfico.

- **NS B:** Las maniobras de convergencia y divergencia se perciben a través de los conductores, y se produce una turbulencia mínima.
- **NS C:** La velocidad dentro del área de influencia de la rampa comienza a disminuir a medida que los niveles de turbulencia se vuelven mucho más notorios. Los vehículos tanto de la rampa, como de la autopista comienzan a ajustar sus velocidades para lograr transiciones suaves.
- **NS D:** Los niveles de turbulencia en el área de influencia se vuelven intrusivos y prácticamente todos los vehículos se demoran para acomodar las maniobras. Pueden presentarse algunas colas en la rampa, pero la operación de la autopista se mantiene estable.
- **NS E:** Representa condiciones de operación cercanas a la capacidad. Los pequeños cambios en la demanda o las interrupciones dentro del flujo de tráfico pueden provocar la formación de colas tanto en la rampa como en la autopista.
- **NS F:** Define las condiciones de operación dentro de las colas que se forman tanto en la rampa como en la línea principal de la autopista cuando la demanda excede la capacidad. Una rampa puede recibir la calificación de NS: F en los siguientes casos:
 - ✓ Cuando la tasa de flujo de la demanda del segmento la autopista en sentido ascendente y la rampa de entrada excede la capacidad del segmento de la autopista en sentido descendente.
 - ✓ Para rampas de salida, cuando la tasa de flujo de la demanda total en el segmento de autopista ascendente contigua supera la capacidad del segmento de carretera ascendente.
 - ✓ Cuando la demanda fuera de la rampa excede la capacidad de la rampa de salida.

El Nivel de Servicio en las áreas de influencia de convergencia y divergencia es determinado por la densidad para los casos de operación estable, representada por lo Niveles de Servicio del A al E.

La Tabla 3 resume los criterios de Nivel de Servicio para los segmentos de convergencia y divergencia de autopistas, evaluados en el (HCM 2010, Cap. 13)

Tabla 3. Criterios de Nivel de Servicio segmentos de convergencia y divergencia para autopistas

NS	Densidad (pc/mi/ln)	Comentarios
A	≤10	Operaciones sin restricción
B	>10-20	Maniobras de convergencia y divergencia notable para los conductores
C	>20–28	Las velocidades del área de influencia comienzan a disminuir
D	>28-35	La turbulencia del área de influencia se vuelve intrusiva
E	>35	Turbulencia sentida prácticamente por todos los conductores
F	La demanda excede la capacidad	Formación de colas en la rampa de las autopistas forman

Fuente: HCM (2010). Cap. 13, p.13-4

Los criterios establecidos en la Tabla 3 aplican tanto para las uniones de rampas y autopistas como para las principales rampas de convergencias y divergencias incontroladas de alta velocidad en segmentos de carreteras de varios carriles.

En términos generales, el Nivel de Servicio es entendido como una medida cualitativa que describe las condiciones de circulación de una corriente vehicular, caracterizada generalmente por ciertos parámetros como velocidad y tiempo de recorrido, libertad para maniobrar, interrupciones de la circulación, comodidad y seguridad vial.

1.2. Cálculo de nivel de servicio – HCM 2010

Por tratarse de intersecciones a desnivel, el manual HCM (2010) establece que el análisis debe realizarse basados en el cálculo de densidad en los puntos de divergencia y convergencia de cada uno de los ramales (rampas) de la misma. (HCM 2010, Cap. 13)

De acuerdo con lo anterior, y tomando como referencia el capítulo 13 del Manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), a continuación se presentan las fórmulas, tablas y figuras utilizadas para el cálculo del Nivel de Servicio (NS) de los segmentos de convergencia y divergencia.

1.2.1. Definición de datos de entrada.

Sobre el tronco principal (autopista)

- Velocidad a flujo libre (FFS): 55-75 mi/h
- Número de carriles: 2-5
- Tipo de Terreno: Plano, ondulado, montañoso
- Presencia de vehículos pesados: camiones, buses, recreacionales.
- Demanda de flujo Volumen aguas arriba de la rampa
- Factor Hora Pico
- Factor poblacional del conductor: 0.85-1.00

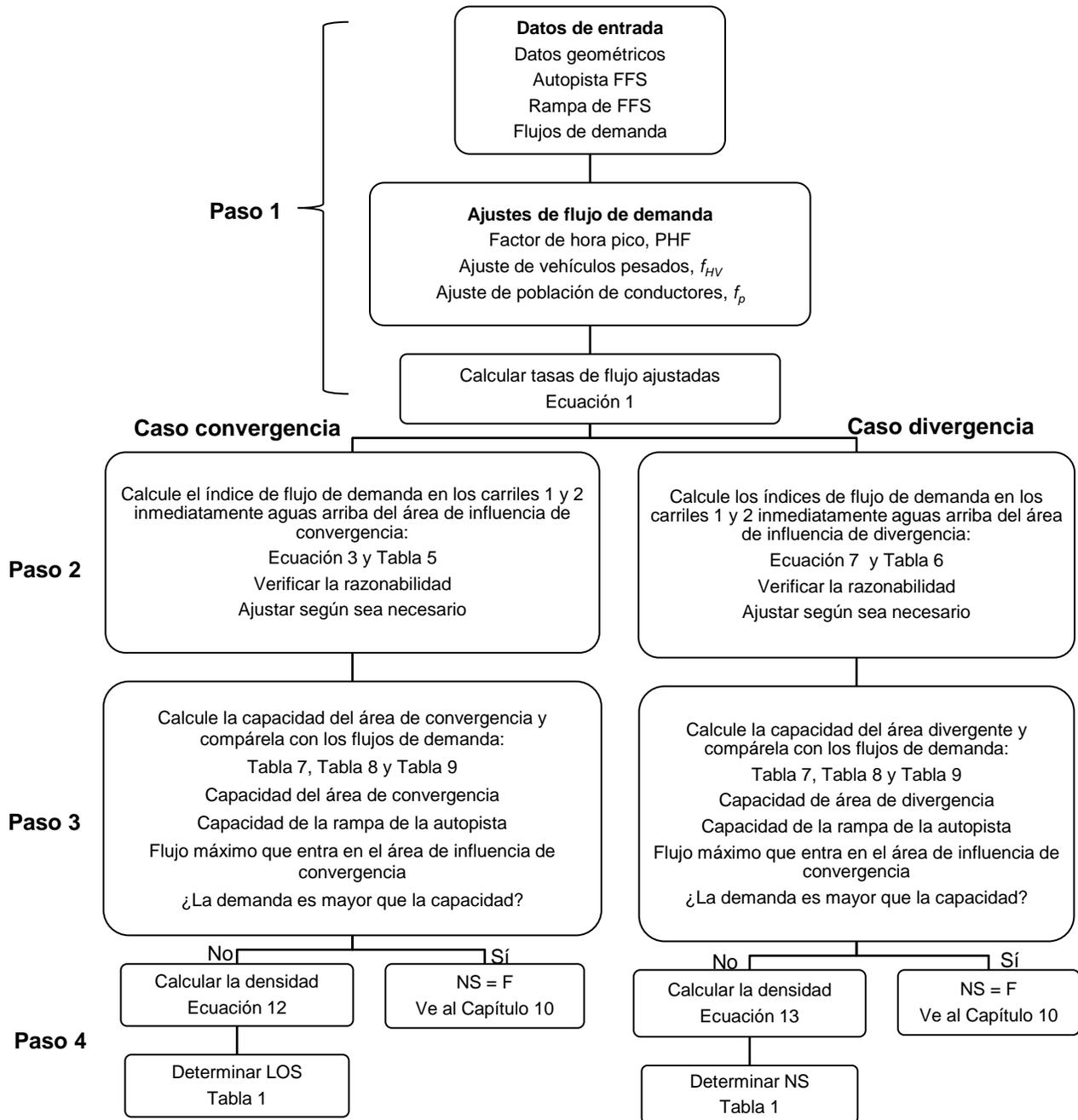
Sobre la rampa o ramal

- Tipo de rampa: Divergencia, convergencia, salida, entrada
- Costado de la unión: Derecho, izquierdo
- Número de carriles en la rampa: 1-2 carriles
- Número de carriles en la salida de la rampa: 1-2 carriles
- Longitud del carril de aceleración / deceleración
- Velocidad a flujo libre (FFS): 20-50 mi/h
- Tipo de Terreno: Plano, ondulado, montañoso
- Demanda de flujo en la rampa

- Presencia de vehículos pesados: camiones, buses, recreacionales.
- Factor Hora Pico
- Factor poblacional del conductor: 0.85-1.00
- Rampas adyacentes aguas arriba o aguas abajo:
 - ✓ Distancia ascendente o descendente a la fusión / divergencia en estudio,
 - ✓ Caudal de demanda en la rampa ascendente o descendente, y
 - ✓ Los porcentajes de hora pico y de vehículos pesados para el río arriba o rampa aguas abajo.

Una vez determinados los datos para cada punto de convergencia o divergencia, se aplica el siguiente diagrama de flujo. (Ver Figura 2)

Figura 2. Diagrama de flujo para el análisis de las uniones de rampas de autopistas



Fuente: HCM (2010). Cap.13, p.13-8

De acuerdo con el diagrama de Flujo el análisis de nivel de servicio para rampas de convergencia y divergencia se realiza a través los siguientes pasos: (HCM 2010, Cap. 13, p.13-10)

Paso 1: Especificar los datos de partida y determinar la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. (HCM 2010, Cap. 13, p.13-10)

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

v_i = Flujo de demanda por movimiento i (pc/h)

V_i = Volumen de demanda por el movimiento i (vel/h)

PHF = Factor de hora pico

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados

f_p = Factor de ajuste por población de conductores

El factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 - P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

P_T = Proporción de camiones y autobuses, expresado como decimal

E_T = Equivalente en vehículos de pasajeros para camiones y autobuses

P_R = Proporción de vehículos recreacionales, expresado como decimal

E_R = Equivalente en vehículos de pasajeros para vehículos recreacionales

Los parámetros E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Tabla 4. PCEs para vehículos pesados en segmentos de terreno general

Vehículo	Nivel	PCE por tipo de terreno laminado	Montañoso
Buses y camiones ET	1.5	2.5	4.5
RVs, ER	1.2	2.0	4.0

Fuente: HCM (2010). Cap.11, p.11-15

Paso 2: Estimar demanda carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal. (HCM 2010, Cap. 13, p.13-12)

Caso convergencia

$$v_{12} = v_F \times P_{FM} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

v_{12} = Velocidad de flujo en carriles 1 y 2 (pc / h),

v_F = Tasa de flujo total en la autopista inmediatamente aguas arriba del área de influencia de la subida (fusión / h)

P_{FM} = Proporción de vehículos de autopista que permanecen en los Carriles 1 y 2 inmediatamente aguas arriba del área de influencia en la rampa.

Tabla 5. Modelos para determinar P_{FM}

No. de Carriles en la autopista ^a	Modelos para determinar P_{FM}		Ecuación
4	$P_{FM} = 1.000$		Ecuación 4
6	$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028L_A$		Ecuación 5
	$P_{FM} = 0.7289 - 0.0000135(v_F + v_R) - 0.003296S_{FR} + 0.000063L_{UP}$		
	$P_{FM} = 0.5487 + 0.2628(v_D/L_{DOWN})$		
8	Para $(V_F/S_{FR} \leq 72: P_{FM} = 0.2178 - 0.000125v_R + 0.01115(L_A + S_{FR})$		Ecuación 6
	Para $(V_F/S_{FR} > 72: P_{FM} = 0.2178 - 0.000125v_R$		
Selección de ecuaciones para P_{FM} para autopistas de seis carriles			
Rampa ascendente	Rampa sujeto	Rampa descendente adyacente	Ecuación (es) utilizada (s)
Ninguna	Entrada	Ninguna	
Ninguna	Entrada	Entrada	Ecuación 4
Ninguna	Entrada	Salida	Ecuación 6 o Ecuación 4
Entrada	Entrada	Ninguna	Ecuación 4
Salida	Entrada	Ninguna	Ecuación 5 o Ecuación 4
Entrada	Entrada	Entrada	Ecuación 4
Entrada	Entrada	Salida	Ecuación 6 o Ecuación 4
Salida	Entrada	Entrada	Ecuación 5 o Ecuación 4
Salida	Entrada	Salida	Ecuación 6 o Ecuación 5 o Ecuación 4

Fuente: HCM (2010). Cap.13, p.13-13

Nota: ^a 4 carriles = dos carriles en cada dirección; 6 carriles = tres carriles en cada dirección; 8 carriles = cuatro carriles en cada dirección.

Si una divergencia adyacente en una autopista de seis carriles no es una rampa de salida de un carril, en el lado derecho, use la Ecuación 4.

Caso divergencia

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

v_{12} = Velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 de la autopista inmediatamente antes de la línea de desaceleración (pc / h),

v_R = Velocidad de flujo en la rampa de salida (pc / h),

P_{FD} = Proporción de tráfico divergente restante en las Carriles 1 y 2 inmediatamente aguas arriba de la línea de desaceleración.

Tabla 6. Modelos para determinar P_{FD}

No. de Carriles en la autopista ^a	Modelos para determinar P_{FD}		Ecuación
4	$P_{FD} = 1.000$		Ecuación 8
6	$P_{FD} = 0.760 + 0.000025v_F - 0.000046v_R$		Ecuación 9
	$P_{FD} = 0.717 + 0.000039v_F + 0.604(v_U/L_{UP})$		
	$P_{FD} = 0.616 + 0.000021v_F + 0.124(v_D/L_{DOWN})$		
8	$P_{FD} = 0.436$		Ecuación 10
Selección de ecuaciones para PFM para autopistas de seis carriles			
Rampa ascendente	Rampa sujeto	Rampa descendente adyacente	Ecuación (es) utilizada (s)
Ninguna	Salida	Ninguna	Ecuación 8
Ninguna	Salida	Entrada	Ecuación 8
Ninguna	Salida	Salida	Ecuación 10 o Ecuación 8
Entrada	Salida	Ninguna	Ecuación 9 o Ecuación 8
Salida	Salida	Ninguna	Ecuación 8
Entrada	Salida	Entrada	Ecuación 9 o Ecuación 8
Entrada	Salida	Salida	Ecuación 10, Ecuación 9, o Ecuación 8
Salida	Salida	Entrada	Ecuación 8
Salida	Salida	Salida	Ecuación 10 o Ecuación 8

Fuente: HCM (2010). Cap.13, p.13-14

Nota: ^a 4 carriles = dos carriles en cada dirección; 6 carriles = tres carriles en cada dirección; 8 carriles = cuatro carriles en cada dirección.

Si una rampa adyacente en una autopista de seis carriles no es una rampa de salida de un carril, en el lado derecho, use la Ecuación 8.

Paso 3: Estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista y comparación de esta con la demanda. (HCM 2010, Cap. 13, p.13-17)

$$v_{R12} = v_{12} + v_R \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde,

v_{R12} = velocidad de flujo total que ingresa al área de influencia de la rampa en una rampa de entrada (pc / h) y las demás variables son como se definió previamente.

Tabla 7. Capacidad de la rampa de autopista (pc / h)

FFS (mi/h)	Capacidad del segmento de vía ascendente / descendente ^a				Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) Entrando en el área de influencia de convergencia ^b	Max. Velocidad de flujo deseable (V_{12}) Entrada al área de influencia de divergencia ^b
	Nº de carriles en una dirección					
	2	3	4	>4		
≥70	4,800	7,200	9,600	2,400/ln	4,600	4,400
65	4,700	7,050	9,400	2,350/ln	4,600	4,400
60	4,600	6,900	9,200	2,300/ln	4,600	4,400
55	4,500	6,750	9,000	2,250/ln	4,600	4,400

Fuente: HCM (2010). Cap.13, p.13-18

Nota: a. La demanda en exceso de estas capacidades resulta en NS F.

b. La demanda que excede estos valores por sí sola no da como resultado NS F; las operaciones pueden ser peores de lo que predice esta metodología.

Tabla 8. Capacidad de las conexiones de rampa de alta velocidad en autopistas de varios carriles y carreteras C-D (pc / h)

FFS (mi/h)	Capacidad de la vía ascendente / descendente o Segmento C-D ^a			Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) Entrando en el área de influencia de fusión ^b	Max. Velocidad de flujo deseable (V_{12}) Entrada al área de influencia de divergencia ^b
	Nº de carriles en una dirección				
	2	3	>3		
≥60	4,400	6,600	2,200/ln	4,600	4,400
55	4,200	6,300	2,100/ln	4,600	4,400
50	4,000	6,000	2,000/ln	4,600	4,400
45	3,800	5,700	1,900/ln	4,600	4,400

Fuente: HCM (2010). Cap.13, p.13-18

Nota: a. La demanda en exceso de estas capacidades resulta en NS F.

b. La demanda que excede estos valores por sí sola no da como resultado NS F; las operaciones pueden ser peores de lo que predice esta metodología.

Tabla 9. Capacidad de la Rampa de la Autopista

Rampa FFS SFR (mi/h)	Capacidad de la Rampa de la Autopista	
	Rampas de un solo carril	Rampas de dos carriles
>50	2,200	4,400
>40-50	2,100	4,200
>30-40	2,000	4,000
≥20-30	1,900	3,800
<20	1,800	3,600

Fuente: HCM (2010). Cap.13, p.13-18

Nota: La capacidad de un camino de rampa no garantiza una capacidad igual en su autopista u otro cruce de alta velocidad.

La capacidad de empalme se debe comparar con los criterios en la Tabla 7 y la Tabla 8.

Paso 4: Estimación de la densidad en la zona de influencia del ramal y estimación del NS imperante. (HCM 2010, Cap. 13, p.13-19)

Caso Convergencia

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A \quad \text{Ecuación 12}$$

Caso Divergencia

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D \quad \text{Ecuación 13}$$

Finalmente, a partir de la densidad en la zona de influencia del ramal se determina el NS a partir de la Tabla 3.

2. Metodología

El objetivo de esta investigación consiste en realizar la comparación entre los resultados obtenidos por el IDU, con base en el estudio de tránsito presentado en el año 2011 según manual HCM (2000), y los resultados obtenidos en el presente trabajo basados en el manual HCM (2010).

2.1. Instrumentos para la recolección de la información

Para el desarrollo del presente trabajo se seleccionaron fuentes secundarias entre las que se destacan: los Manuales de Carreteras HCM (2000) y HCM (2010), el Estudio de Tránsito y Transporte Anillo 1 Versión 3 realizado por el IDU (2011), el Plan de ordenamiento Zonal Borde Norte realizado por el SDP (2010); trabajos de grado y artículos académicos, entre otros documentos de interés, que permitieron dar respuesta al tema objeto de investigación.

2.2. Etapas de desarrollo

En cumplimiento con el tema objeto de investigación, a continuación se presentan los diferentes pasos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de los análisis previstos:

Etapas 1: Recopilación de la información

- Recopilación de estudios existentes
- Recopilación de metodologías de análisis

Etapas 2: Análisis preliminar de la información

- Análisis de estudios existentes
- Revisión de metodología de cálculo

Etapa 3: Análisis de capacidad y nivel de servicio

- Cálculo de capacidad y nivel de servicio HCM (2000)
- Cálculo de capacidad y nivel de servicio HCM (2010)

Etapa 4: Análisis de resultados

- Comparación de resultados HCM (2000) vs HCM (2010)
- Análisis de geometría propuesta

Etapa 5: Conclusiones

- Evaluación de diferencia de resultados según metodologías de análisis
- Recomendaciones de ajuste a la propuesta geométrica

3. Estudio de tránsito IDU

El Estudio de Tránsito desarrollado por el IDU (2011) es el insumo básico que contiene la evaluación de Capacidad y Nivel de servicio de la infraestructura vial propuesta en el anillo 1 del POZ Norte.

Revisando los documentos elaborados por el Instituto, se encuentra que los análisis desarrollados dentro del informe de “Estudio de Tránsito” siguieron la metodología recomendada en el manual HCM-2000, como se registra en el informe principal: “Las evaluaciones de tránsito de las alternativas se realizaron con la metodología descrita en el manual de capacidad americano (HCM) versión 2000, para intersecciones no señalizadas como para intersecciones controladas con semáforo, teniendo como herramienta de trabajo el software Vissim.” (IDU, 2011, p.231). Dentro del informe del citado estudio encontramos información de relevancia como:

3.1. Área de Influencia

3.1.1. Delimitación del POZ Norte.

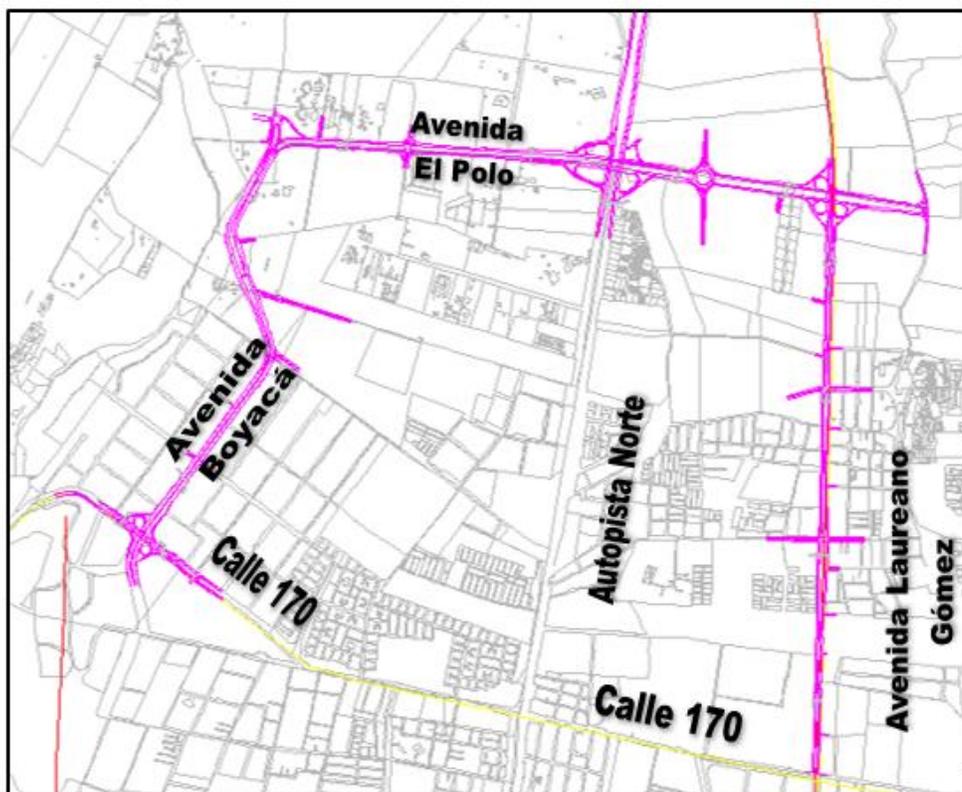
De acuerdo con el IDU (2011, p.2), “El área del POZ Norte limita por el norte con el municipio de Chía y perímetro urbano del Distrito Capital; por el oriente con el perímetro urbano del Distrito Capital y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá; por el sur con las unidades de planeamiento zonal Britalia, Casablanca Suba, San José de Bavaria, y las Calles 191, 189 y 193; por el occidente, con la Unidad de Planeamiento Rural de la Zona Norte y el perímetro urbano. (...)” (Decreto 043, Art. 3)

Dentro de la estrategia de desarrollo del Distrito Capital, de acuerdo con los postulados del plan de Ordenamiento Territorial – POT adoptado mediante decreto 190 de 2004, se señala que el plan de ordenamiento zonal del norte – POZ NORTE debe ser desarrollado en el corto plazo, teniendo en cuenta que “la zona norte en un

área fundamental para la estructura urbana de la ciudad y, a la vez, constituye un sector complejo en su planificación y ordenamiento” (SDP, 2010, p. 8)

En concordancia con lo anterior, para efectos del presente trabajo, el área objeto de estudio se desarrolla en el Anillo vial 1 del POZ NORTE, a partir del informe del estudio de tránsito y transporte realizado por el IDU (2011), utilizando la metodología recomendada en el HCM-2010. (Ver Figura 3)

Figura 3. Anillo 1 - Plan Vial POZ norte



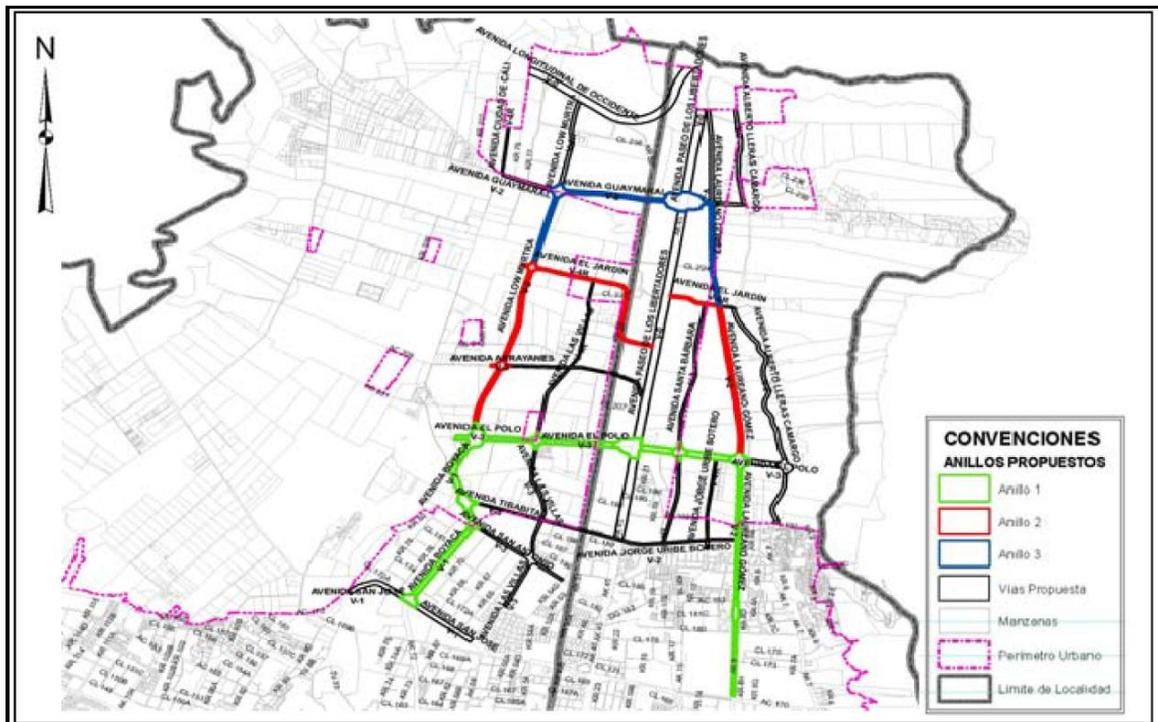
Fuente: Elaboración propia con información IDU (2011). p. 260

De acuerdo con la Figura 3, el área de influencia definida por el Anillo 1 del – POZ NORTE, limitada por las vías del plan vial arterial Avenida Laureano Gómez desde la Calle 170 hasta la Avenida El Polo, la Avenida El Polo desde la Avenida Laureano Gómez hasta la Avenida Boyacá y desde la Avenida Boyacá desde la Avenida El Polo hasta la Calle 170. (IDU, 2011, p. 260)

3.1.2. Malla vial arterial e intermedia incluida en el POZ norte.

En cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Decreto 043 de 2010, la malla vial arterial e intermedia del POZ Norte se encuentra definida en los artículos 22 y 23 (Ver Tabla 1 y Figura 4).

Figura 4. Malla vial POZ Norte

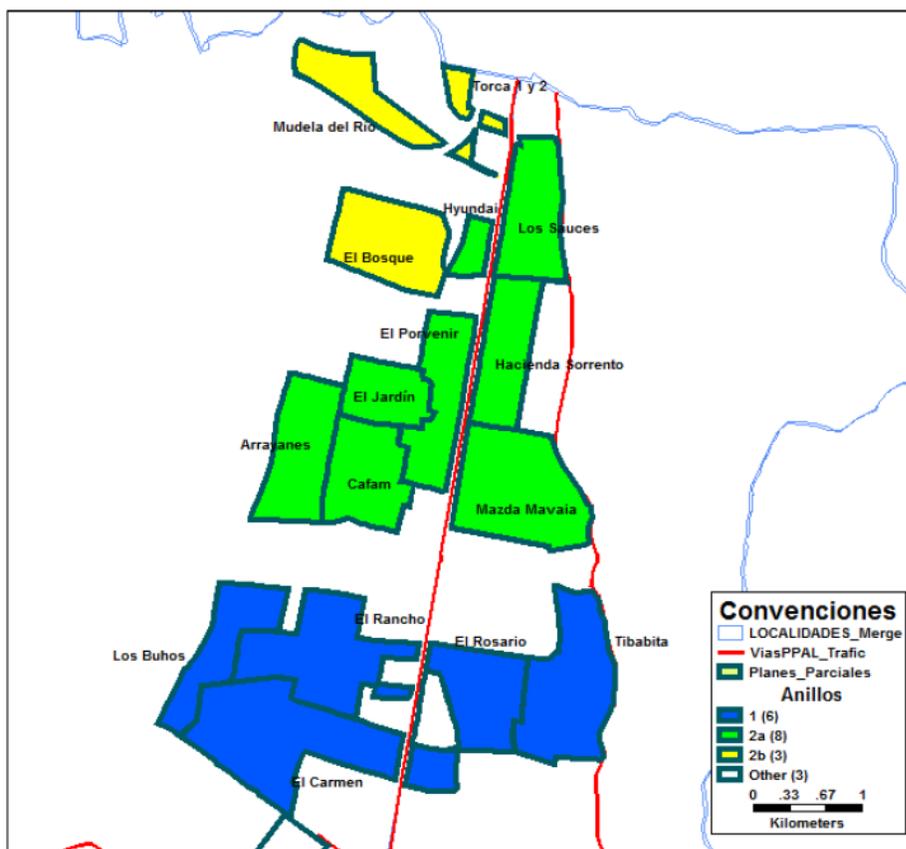


Fuente: Secretaría Distrital de Planeación. En: IDU (2011). p. 2

3.1.3. Descripción Anillo 1.

Si bien, el POZ Norte contiene diecinueve planes parciales, el Anillo 1 está conformado por seis planes parciales. Estos son: Tibabita, El Cangrejal, El Rosario, El Rancho, El Carmen y los Búhos. (IDU, 2011, p. 116). (Figura 5).

Figura 5. Planes parciales correspondientes a los diferentes Anillos del POZN



Fuente: IDU (2011). p. 116

Se estima que dichos planes parciales tengan una distribución de población y estimado de viviendas, tal como se observa en la Figura 14.

Tabla 10. Estimación de población por planes parciales

PLAN PARCIAL ANILLO 1	VIS		E3		E4		E5		E6		TOTALES	
	HAB	VIV	HAB	VIV	HAB	VIV	HAB	VIV	HAB	VIV	HAB	VIV
EL CARMEN	21657	5062	10458	3132	9450	3375	4430	1582	2215	791	48210	13943
EL CANGREJAL	4669	1091	2255	675	2037	728	955	341	477	171	10393	3006
EL RANCHO	6939	1622	3351	1004	3028	1081	1419	507	710	253	15446	4467
EL ROSARIO	1891	442	913	273	825	295	387	138	193	69	4209	1217
LOS BUHOS	1199	280	579	173	523	187	245	88	123	44	2670	772
TIBABITA	59117	13819	9516	2850	0	0	0	0	0	0	68633	16669
TOTAL	95472	22317	27071	8108	15863	5665	7436	2656	3718	1328	149560	40073

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación. En: IDU (2011). p. 116

La malla vial principal del Anillo 1 de POZ Norte está compuesta por la avenida Boyacá, entre avenida San José y avenida El Polo; la avenida El Polo, entre avenida Boyacá y avenida Laureano Gómez y la avenida Laureano Gómez entre avenida El Polo y avenida San José. (IDU, 2011, p. 141)

Además de las anteriores, la malla vial intermedia dentro del Anillo 1 se encuentran constituida por la avenida Tibabita, entre avenida Boyacá y la avenida Laureano Gómez; la avenida San Antonio, entre avenida Boyacá y la carrera 54D; la avenida Las Villas, entre la calle 176 y la avenida El Polo; la avenida Jorge Uribe Botero, desde la calle 189 hasta la avenida El Polo y la avenida Santa Bárbara entre la avenida Tibabita y la avenida El Polo. (IDU, 2011, p. 117)

Adicionalmente, la infraestructura vial incluye las siguientes intersecciones: (IDU, 2011, p. 117-118)

- Avenida Boyacá por avenida San José.
- Avenida Boyacá por avenida Tibabita.
- Avenida Boyacá por avenida El Polo.
- Avenida Boyacá por avenida San Antonio.
- Avenida El Polo por avenida Villas.
- Avenida El Polo por avenida Paseo de los Libertadores.
- Avenida El Polo por avenida Santa Bárbara.
- Avenida El Polo por avenida Jorge Uribe Botero.
- Avenida El Polo por avenida Laureano Gómez.
- Avenida Laureano Gómez por avenida Tibabita.
- Avenida Laureano Gómez por avenida San José.
- Avenida Laureano Gómez por avenida San Antonio.
- Avenida Las Villas por avenida San Antonio.
- Avenida Las Villas por avenida San Tibabita.
- Avenida Tibabita por avenida Santa Bárbara.
- Avenida Tibabita por avenida Jorge Uribe Botero.
- Avenida Laureano Gómez por Avenida San Antonio

La malla vial descrita se muestra esquemáticamente en la siguiente figura:

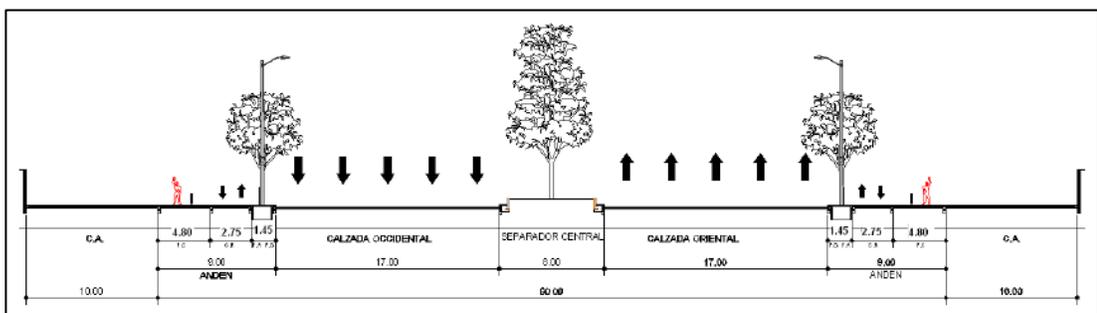
Figura 6. Esquema Vial Anillo 1.



Fuente: Secretaría Distrital de Planeación. En: IDU (2011). p. 117

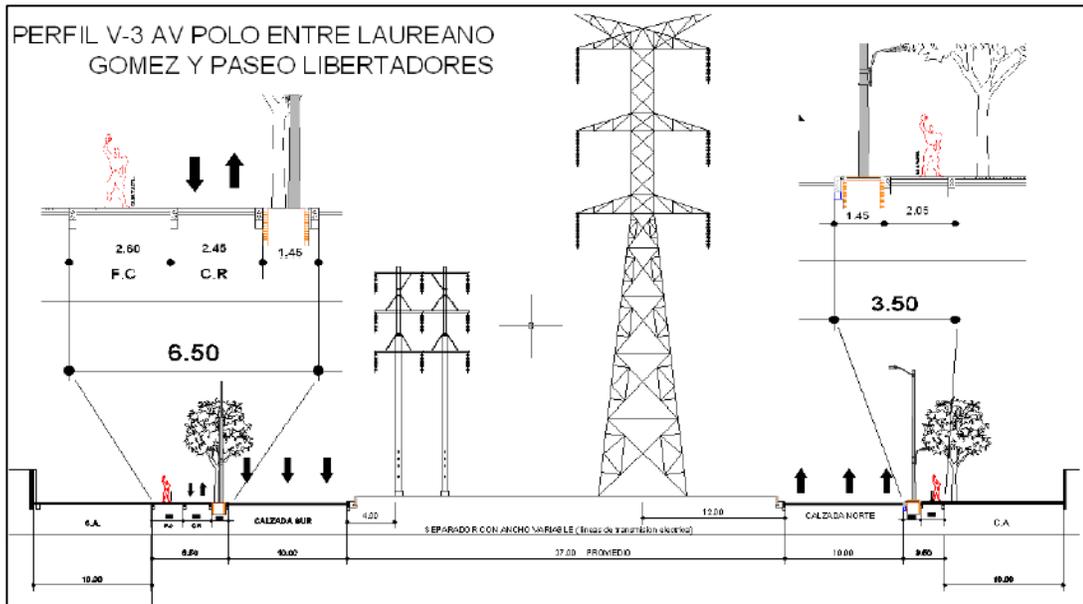
Las secciones transversales propuestas para la malla vial principal del Anillo 1 contienen franjas vehiculares, peatonales y de ciclorruta, se muestran a continuación:

Figura 7. Perfil V1 Avenida Boyacá entre Av. San José y Av. El Polo



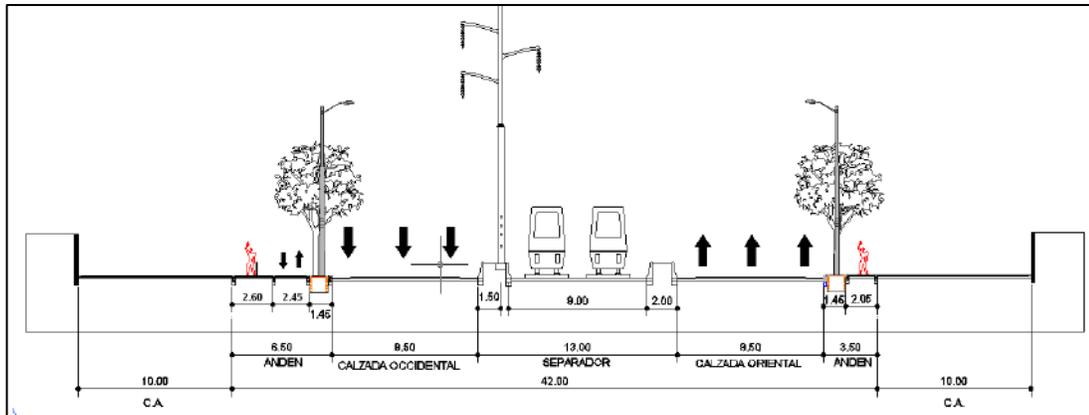
Fuente: IDU (2011). p. 270

Figura 8. Perfil V – 3 Av. Polo entre Laureano Gómez y Paseo Libertadores



Fuente: IDU (2011). p. 271

Figura 9. Perfil V-3 Av. Laureano Gómez entre Av. San José y Av. El Polo



Fuente: IDU (2011). p. 271

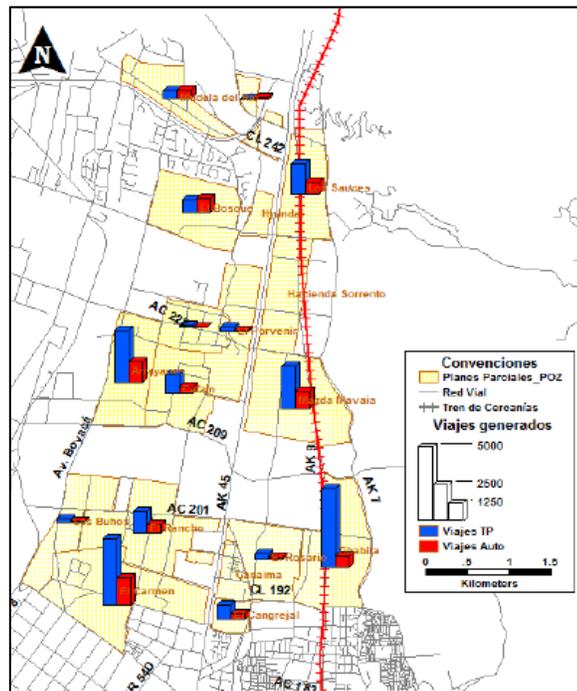
Partiendo de estudios anteriores, tales como: el estudio de Reformulación del Plan Vial, la encuesta de Movilidad y el estudio de Macromodelación; se realiza el cálculo de los viajes producidos por la población estimada del POZN.

Para el Anillo 1 se obtuvo un total de 4.308 viaje en la HMD, usando el modelo de generación del estudio de Macromodelación y con base en la tasa de motorización actual, del mismo estudio, además del número de viajes/persona por estrato en Bogotá. (IDU, 2011, p. 121)

Sin embargo, se introdujo un factor de ajuste de 1.15 para el año 2020, propuesto por la SDM y el IDU, con la finalidad de tener en cuenta los buses escolares y de transporte especial y otras variables que no pueden ser incluidas en el modelo macro y que se requiere representar en los modelos micro del estudio. (IDU, 2011, p. 121)

En resumen, los viajes producidos por cada plan parcial, en transporte público y privado, se muestran en la siguiente figura.

Figura 10. Viajes producidos por cada plan parcial en transporte público y privado



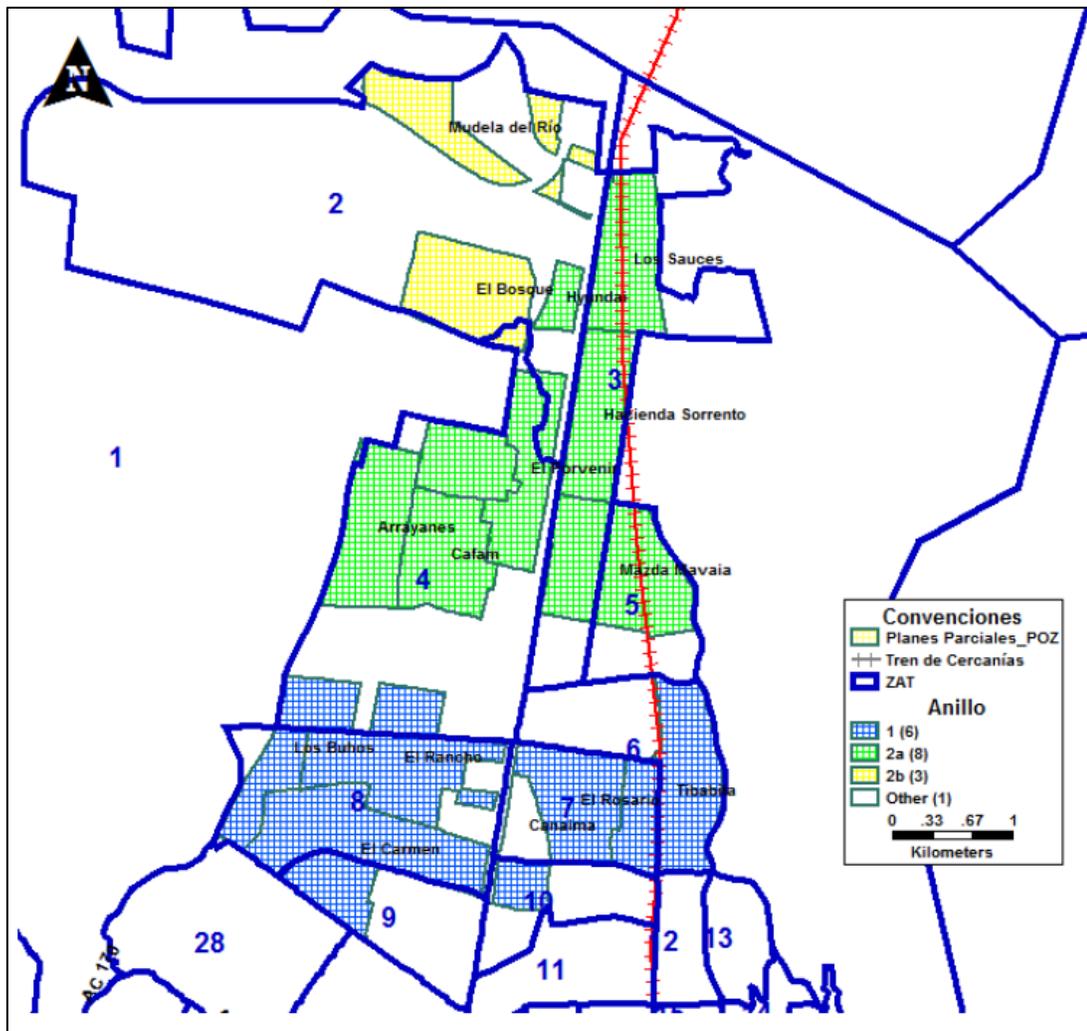
Fuente: IDU (2011). p. 121

El modelo de macromodelación de la ciudad cuenta con un total de 824 zonas de análisis de transporte ZAT, de las cuales 10 se encuentran en la zona del POZ

Norte; dentro de las cuales se realiza una distribución homogénea por área del número de viajes. (IDU, 2011, p. 122)

En la figura podemos observar que las áreas correspondientes al anillo 1 del POZN se encuentran dentro de las zonas ZAT 4, 6, 7, 8, 9 Y 10.

Figura 11. Zonificación del POZN.



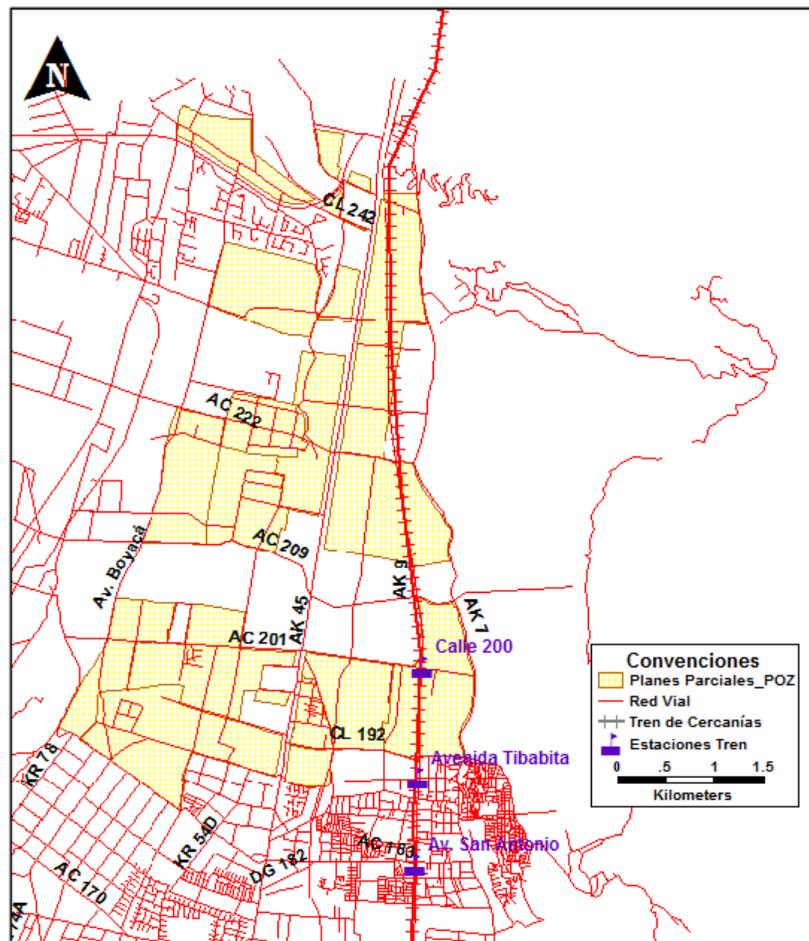
Fuente: IDU (2011). p. 122

3.1.4. Sistema de Transporte Público.

En cuanto al componente de transporte público, la población del POZN tendrá acceso al sistema masivo, tren de cercanías y sistema Transmilenio, y al sistema colectivo (SITP).

El proyecto del tren de cercanías propone tres estaciones en la zona de estudio, en la calle 200, avenida Tibabita y avenida San Antonio sobre su trazado paralelo a la avenida novena; mientras que el sistema Transmilenio cuenta con estaciones sobre la autopista norte.

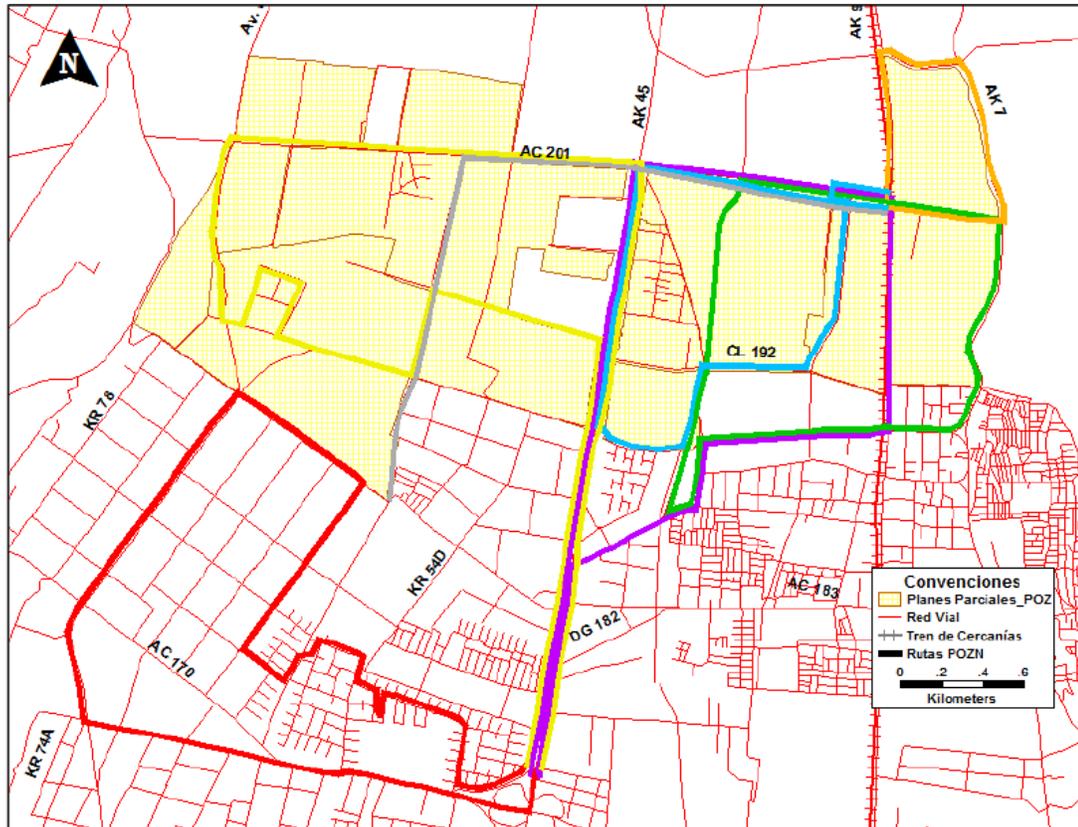
Figura 12. Trazado del Tren de cercanías y estaciones propuestas



Fuente: IDU (2011). p. 123

Dentro del sistema colectivo se proponen la creación de ocho (8) rutas alimentadoras que se conectan al tren de cercanía y al sistema Transmilenio, así como la modificación de catorce (14) rutas del SITP que darán cubrimiento a la zona del POZN. (IDU, 2011, p. 123)

Figura 13. Rutas Alimentadoras propuestas



Fuente: IDU (2011). p. 124

3.1.5. Macromodelación del Anillo 1.

Dentro del proceso de Macromodelación se tuvo en cuenta la red prevista para el año de modelación, las características de los tramos viales y conectores en el modelo, la hora de modelación y las precargas de vehículos. Dentro de los atributos asignados a la red se destacan los siguientes:

Tabla 11. Clasificación vial adoptada en la red de simulación

Tipo	Descripción	Correspondencia con jerarquización POT
1	Conector de centroide	
2	Carretera de peaje interurbana	
3	Carretera libre interurbana	
4	Laterales de ejes principales	V-0 y V-1
5	Centrales de vías de ejes principales	V-0 y V-1
6	Vías primarias de un sentido de circulación	V-3, V-4 y V-5
7	Vías primarias de dos sentidos de circulación	V-3, V-4 y V-5
8	Vías secundarias	V-6 y V-7
9	Vías locales	V-8
10	Intercambiador central-lateral ejes principales	

Fuente: IDU (2011). p. 133

Tabla 12. Resumen atributos de red

Tipo de vía	Type	Velocidad a Flujo Libre	Función flujo demora	Capacidad carril (promedio)	Ejemplo
Carretera de peaje interurbana	2	100	Vdf=6	1800	Autopista Norte
Carretera libre	3	85	Vdf=5	1500	Calle 13
Centrales de vías de ejes principales	4	80	Vdf=6	2000	Carril central Av. Boyacá
Laterales de vías de ejes principales	5	60	Vdf=6	950	Carril derecho Av. Boyacá
Vías primarias de un sentido de circulación	6	55	Vdf=6	900	Carrera 15
Vías primarias de dos sentidos de circulación	7	50	Vdf=6	850	Calle 80
Vías secundarias	8	45	Vdf=6	750	Calle 85
Vías locales	9	35	Vdf=6	700	Carrera 60

Fuente: IDU (2011). p. 133

El periodo de modelación entre 6:30 am y 8:30 am se define como representativo de la demanda de viajes en vehículo privado para la ciudad; así mismo, se definen tres tipos de precargas las cuales corresponden a vehículos de transporte público, vehículos de carga y motos. (IDU, 2011, p. 134)

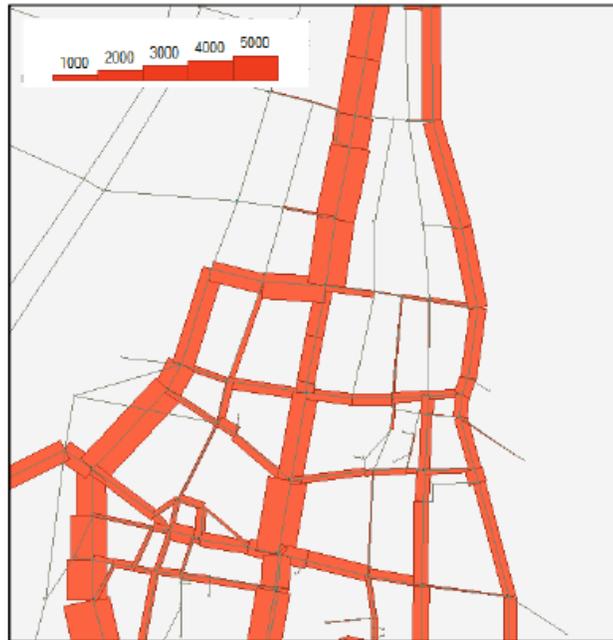
A continuación se presentan figuras representativas de la red vial escenario 2020, volúmenes de vehículos livianos del Anillo 1, relación volumen/capacidad de segmentos viales y resultados de volúmenes en intersecciones.

Figura 14. Red vial adicionada o modificada para el escenario 2020



Fuente: IDU (2011). p. 132

Figura 15. Volumen de vehículos livianos en el Anillo 1



Fuente: IDU (2011). p. 138

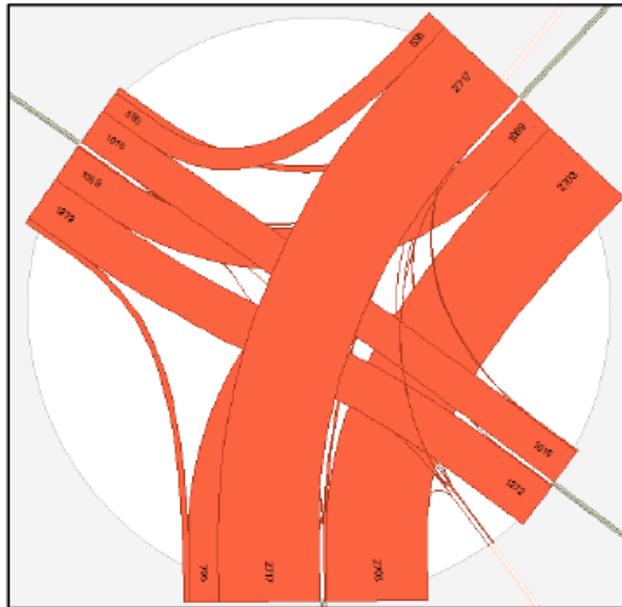
Figura 16. Relación Volumen Capacidad (v/c) por tramos



Fuente: IDU (2011). p. 139

Para pasar del modelo macro al modelo micro se presentan los resultados de volúmenes direccionales en cada una de las intersecciones modeladas, como se resume en la figura y anexos del estudio realizado por el IDU.

Figura 17. Esquema de resultados de flujos en las intersecciones



Fuente: IDU (2011). p. 140

3.1.6. Microsimulación de alternativas.

Partiendo de los resultados de la Macromodelación para el año 2020, y una vez balanceada la red, se determinaron los volúmenes de vehículos que se asignaron a la red de microsimulación, para cada uno de los movimientos permitidos en las intersecciones en evaluación.

El análisis realizado por el IDU se base en la metodología propuesta por el HCM versión 2000, tomado la geometría propuesta para el año 2020 y los volúmenes de la macromodelación; por esto, con la finalidad de que sean comparables, el análisis previsto en este trabajo utilizará la misma geometría e idénticos volúmenes desarrollando su análisis de acuerdo con la metodología propuesta en el HCM versión 2010. Dichos volúmenes se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 13. Volúmenes en la hora pico escenario 2020. Intersección Av. Boyacá por Av. San José (Simulación)

ACCESO	MOVIMIENTO	VOLUMEN AUTOS		VOLUMEN BUSES	VOLUMEN CAMIONES	VOLUMEN MOTOS
		MACRO	MAS 15%			
NORTE	1	2640	3036	86	18	41
	9(1)	562	646	0	5	134
	5	20	23	0	2	5
	TOTAL	3222	3705	86	25	180
SUR	2	2671	3072	66	27	29
	9(2)	10	12	40	18	4
	6	10	12	24	2	4
	TOTAL	2691	3096	130	47	37
ESTE	4	1065	1225	172	46	141
	9(4)	20	23	0	2	4
	8	432	497	40	2	4
	TOTAL	1517	1745	212	50	149
OESTE	3	1411	1623	157	17	107
	9(3)	159	183	24	2	4
	7	903	1038	0	2	4
	TOTAL	2473	2844	181	21	115

Fuente: IDU (2011). p. 250

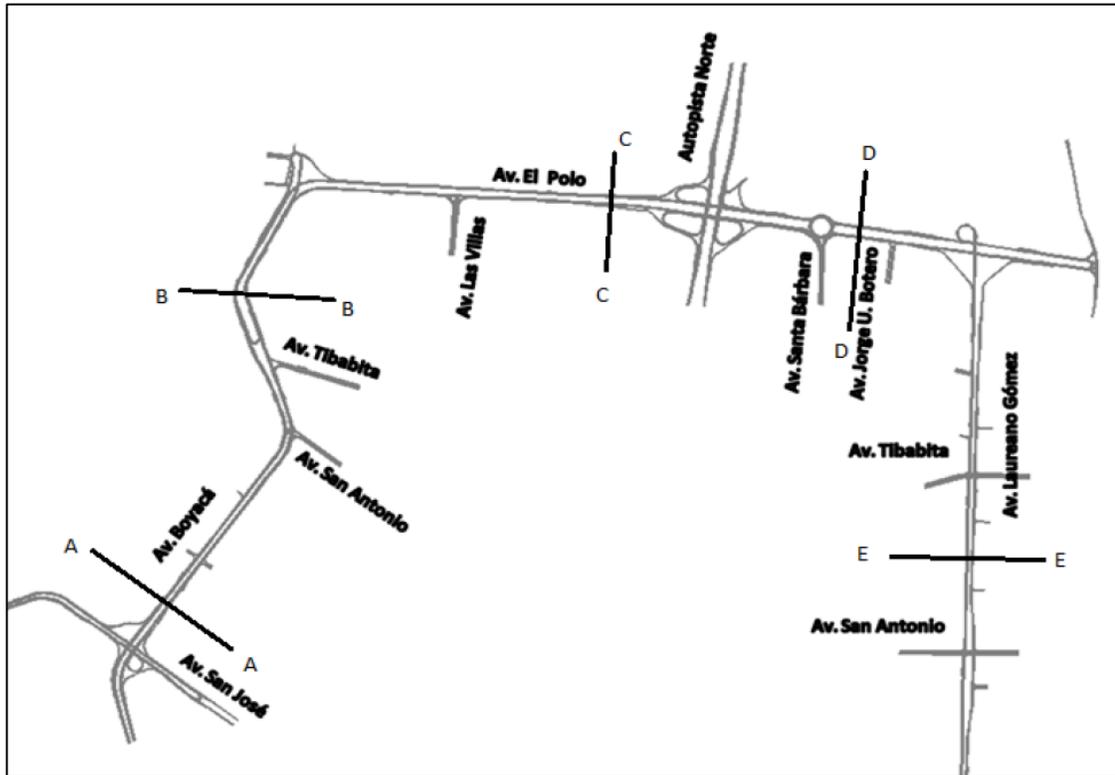
Tabla 14. Volúmenes en la Hora Pico Escenario 2020, Intersección Autopista Norte Por Av. Polo (Simulación)

ACCESO	MOVIMIENTO	VOLUMEN AUTOS		VOLUMEN BUSES	VOLUMEN CAMIONES	VOLUMEN MOTOS
		MACRO	MAS 15%			
NORTE	1	2357	2711	252	187	274
	9(1)	1788	2056	37	19	18
	5	609	700	40	2	4
	TOTAL	4754	5467	329	208	296
SUR	2	1896	2180	238	155	282
	9(2)	25	29	28	2	38
	6	20	23	0	2	4
	TOTAL	1941	2232	266	159	324
ESTE	4	517	595	49	2	4
	9(4)	259	298	96	2	4
	8	188	216	176	2	5
	TOTAL	964	1109	321	6	13
OESTE	3	936	1076	29	2	25
	9(3)	20	23	0	25	4
	7	2836	3261	51	2	4
	TOTAL	3792	4360	80	29	33

Fuente: IDU (2011). p. 252

La red modelada, para el año 2020, se presenta en la siguiente figura:

Figura 18. Red a modelar año 2020



Fuente: IDU (2011). p. 260

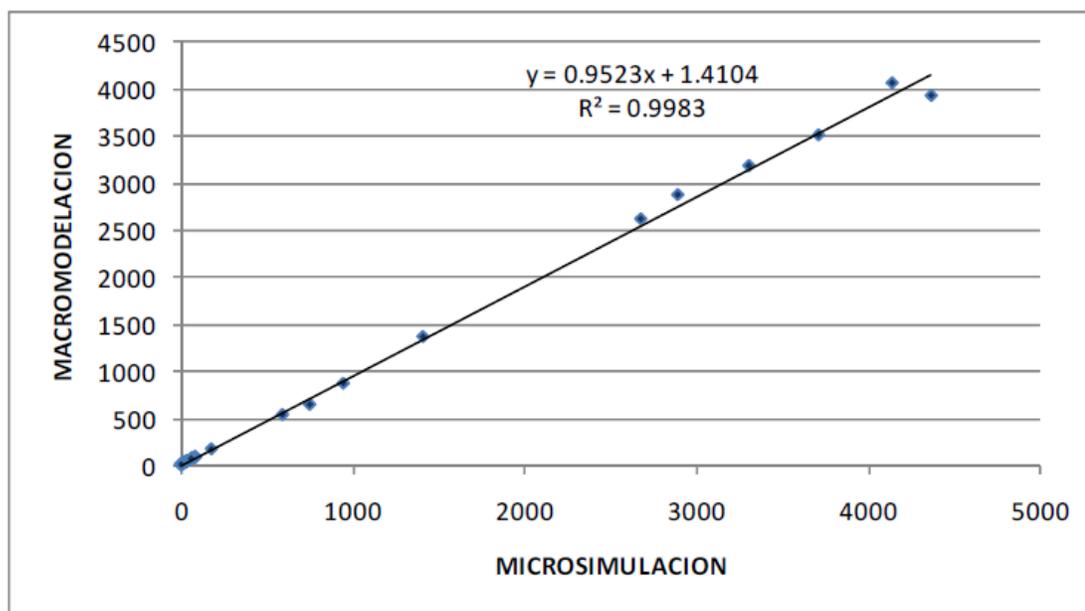
Con el fin de calibrar la red modelada se comparan los volúmenes obtenidos de la Macromodelación y los determinados en la Microsimulación, como se muestra en las siguientes tablas; obteniendo un nivel de correlación de 99.83%, por lo cual se concluye que la red se encuentra calibrada.

Tabla 15. Comparación de volúmenes red año 2020

PUNTO	SENTIDO	MAC					MICR				
		AUTOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL
A	N	6411	94	239	262	7006	5516	85	219	296	6116
A	S	5402	76	173	141	5792	5326	77	168	135	5706
B	N	4426	208	238	102	4974	4285	243	231	114	4873
B	S	3641	105	164	105	4015	3426	140	145	63	3774
C	EW	655	77	6	12	750	625	72	3	8	708
C	WE	2485	117	6	40	2648	2458	114	6	39	2617
D	EW	563	157	17	12	749	564	156	14	9	743
D	WE	1058	161	17	77	1313	767	150	20	85	1022
E	S	770	26	18	13	827	757	80	14	4	855
E	N	1927	26	15	52	2020	1849	0	6	63	1918

Fuente: IDU (2011). p. 266

Figura 19. Calibración de la red año 2020



Fuente: IDU (2011). p. 266

3.1.7. Análisis de capacidad y nivel de servicio.

La calificación del nivel de servicio se realizó de acuerdo con la Tabla 16 incluida en el informe de estudio de tránsito del IDU, pero que como se observa coincide con los rangos de calificación propuestos por el manual HCM versión 2000.

Tabla 16. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas

Nivel de servicio	Demoras promedio por vehículo (segundos/vehículo)
A	0-10
B	>10 – 20
C	>20 – 35
D	>35 – 55
E	>55 – 80
F	>80

Fuente: IDU (2011). p. 189

Como resultado de la microsimulación de alternativas se obtuvo la calificación de nivel de servicio para cada una de las intersecciones del anillo vial para el año 2020; a continuación se presentan los resultados de capacidad y nivel de servicio evaluados.

Tabla 17. Resultados simulación red año 2020

INTERSECCIÓN	Demoras (seg/veh)	Volumen (vehículos)	Nivel de Servicio	Velocidad (Km/h)
BOYACA X SAN JOSE	5.4	12142	A	
BOYACA X SAN ANTONIO X TIBABITA	9.3	7552	A	
POLO X VILLAS X BOYACA	19.3	7129	B	
POLO X AUTONORTE X SANTA BARBARA	24.7	14234	C	
POLO X LAUREANO GOMEZ	22.1	3952	C	
LAUREANO GOMEZ X TIBABITA	18.9	2024	B	
LAUREANO GOMEZ X SAN ANTONIO	19.5	4452	B	
RED TOTAL 2020	16.3	32435	B	41.67

Fuente: IDU (2011). p. 256

Tabla 18. Comparación simulación en red e individual año 2020

INTERSECCIÓN	Operación en Red			Operación Individual		
	Demoras (seg/veh)	Volumen (vehículos)	Nivel de Servicio	Demoras (seg/veh)	Volumen (vehículos)	Nivel de Servicio
BOYACA X SAN JOSE	5.4	12142	A	4.4	12901	A
BOYACA X SAN ANTONIO X TIBABITA	9.3	7552	A	7.5	6835	A
POLO X VILLAS X BOYACA	19.3	7129	B	10.7	6358	B
POLO X AUTONORTE X SANTA BARBARA	24.7	14234	C	22	12281	C
POLO X LAUREANO GOMEZ	22.1	3952	C	15.7	3448	B
LAUREANO GOMEZ X TIBABITA	18.9	2024	B	NA	NA	NA
LAUREANO GOMEZ X SAN ANTONIO	19.5	4452	B	NA	NA	NA
RED TOTAL 2020	16.3	32435	B	NA	NA	NA

Fuente: IDU (2011). p. 256

La información contenida en el informe del Estudio de Tránsito y Transporte del IDU, presenta los análisis desarrollados por el Instituto para la determinación de la demanda vehicular, propone la oferta vial del anillo 1 del POZ Norte y evalúa, mediante el uso de la metodología HCM (2000), el nivel de servicio de la infraestructura vial propuesta. Los volúmenes vehiculares y la geometría de las vías propuesta por el IDU, serán tomadas como insumo para el análisis a realizar con la metodología del HCM (2010).

4. Caso de estudio HCM (2010)

En el presente capítulo se presenta un análisis de resultados que consiste en comparar los resultados obtenidos por el IDU (2011), con base en el estudio de tránsito presentado en el año 2011 según manual HCM (2000), y los resultados obtenidos en el presente trabajo basados en el manual HCM (2010).

El análisis comparativo se concentró en dos (2) de las intersecciones a desnivel planteadas dentro de la infraestructura vial del anillo 1 del POZ NORTE, las cuales específicamente son:

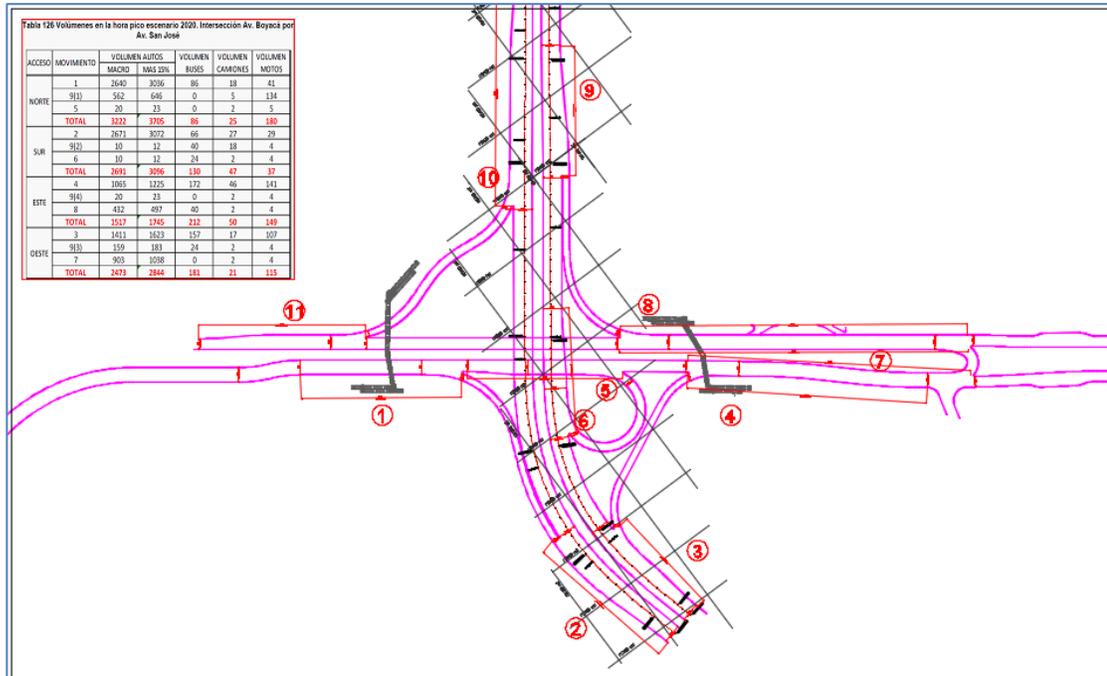
- Intersección Avenida Boyacá X Avenida San José (Calle 170).
- Intersección Avenida El Polo X Autopista norte.

Por tratarse de intersecciones a desnivel, el manual HCM (2010) establece que el análisis debe realizarse basados en el cálculo de densidad en los puntos de divergencia y convergencia de cada uno de los ramales (rampas) de la misma. (HCM 2010, Cap. 13)

De acuerdo con lo anterior, y tomando como referencia el capítulo 13 del Highway Capacity Manual, se presentan las fórmulas, tablas y figuras utilizadas para el cálculo del Nivel de Servicio (Level of Service, LOS) de los segmentos de convergencia y divergencia.

4.1. Intersección Avenida Boyacá x Avenida San José (Calle 170)

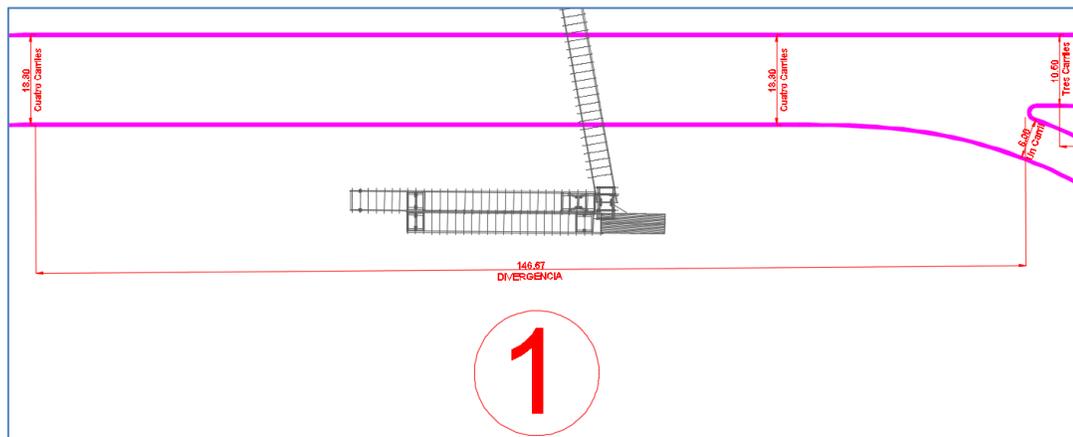
Figura 20. Intersección Avenida Boyacá x Avenida San José (Calle 170)



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011). p. 250

4.1.1. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.

Figura 21. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Calle 170 sentido Occidente – Oriente.

Tabla 19. Parámetros Avenida Calle 170 sentido occidente – oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa:	Occidente - sur
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa:	Divergencia
Terreno	Plano	Costado:	Derecho
% pesados	5.6%	Número de carriles en la rampa:	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3074 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa:	UNO (1)
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración:	146.67 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS):	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno:	Plano
		Volumen en la rampa:	211 vehículos
		% pesados:	12.3%
		FHPico:	1
		Factor conductor:	1

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 5.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.973$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3074}{0.85 \times 0.973 \times 1} = 3716.825 \approx 3717 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 12.3\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.942$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_R = \frac{211}{0.85 \times 0.942 \times 1} = 263.519 \approx 264 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7.

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6.

$$v_{12} = 264 + (3718 - 264) \times 0.436 = 1769.944 \approx 1770 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 4 carriles es de 9 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de la Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (3.717)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (1.770)
- Capacidad del ramal: 1.800 (264)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$

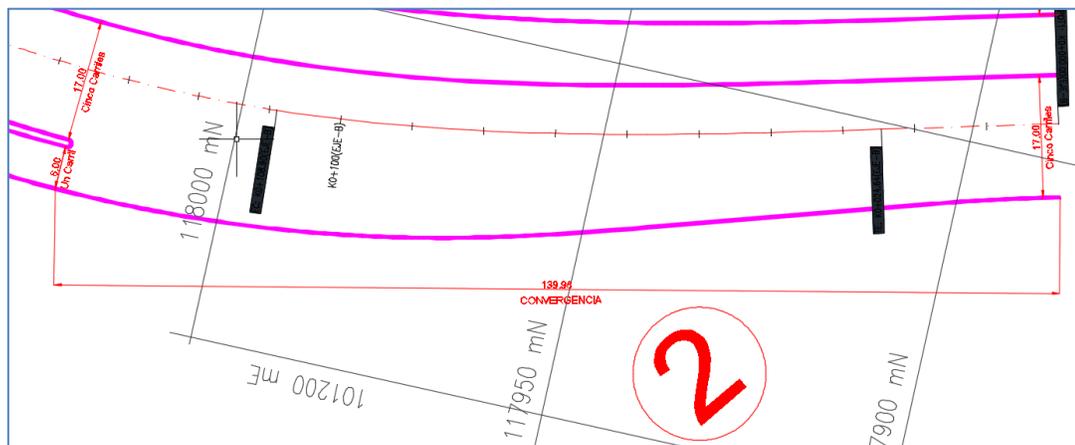
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 1770 - 0.009 \times 146.67$$

$$D_R = 18.154$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 18.154 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.1.2. Avenida Boyacá sentido Norte – Sur.

Figura 22. Avenida Boyacá sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida Boyacá sentido Norte - Sur

Tabla 20. Parámetros Avenida Boyacá sentido Norte - Sur

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa:	Occidente - Sur
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa:	Convergencia
Terreno	Plano	Costado:	Derecho
% pesados	3.3%	Número de carriles en la rampa:	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3161 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa:	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración:	139.96 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS):	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno:	Plano
		Volumen en la rampa:	211 vehículos
		% pesados:	12.3%
		FHPico:	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 3.3\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.984$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3161}{0.85 \times 0.984 \times 1} = 3779.292 \approx 3779 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 12.3\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.942$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1

$$v_R = \frac{211}{0.85 \times 0.942 \times 1} = 263.519 \approx 264 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 carriles:

$$V_F/S_{FR} = \frac{3779}{20} = 188.95 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R + 0.01115 \left(\frac{L^A}{S_{RF}} \right)$$

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 264 + 0.01115 \left(\frac{139.96}{20} \right) = 0.263$$

Entonces

$$v_{12} = 3779 \times 0.263 = 993.877 \approx 994 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cinco carriles es de 2,250/ln y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 994 + 264 = 1258 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 11.250 (3.779+264)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (994)
- Capacidad del ramal: 1.800 (264)

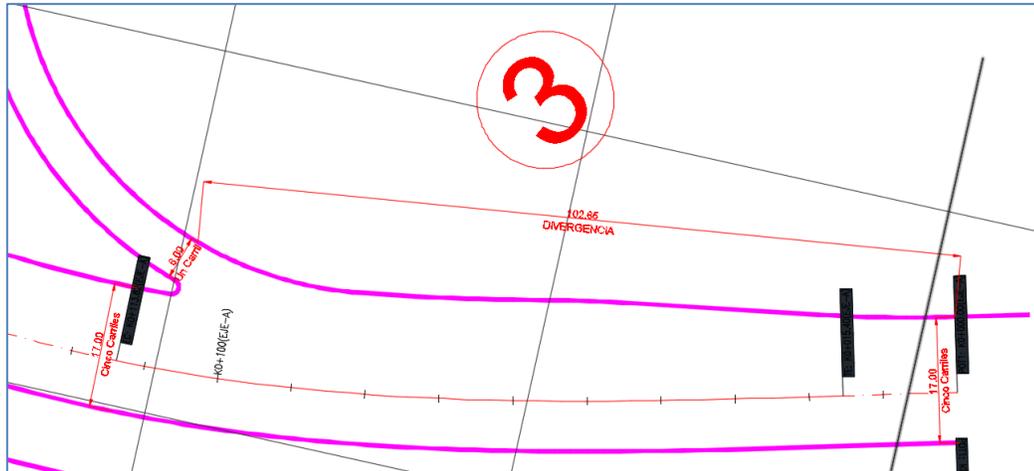
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 264 + 0.0078 \times 994 - 0.00627 \times 139.96$$
$$D_R = 14.289$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 14.289 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.1.3. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte.

Figura 23. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida Boyacá sentido Sur-Norte.

Tabla 21. Parámetros Avenida Boyacá sentido sur-norte

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Sur - Oriente
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	5.4%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3292 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	102.65 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	112 vehículos
		% pesados	75.0%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 5.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.974$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3292}{0.85 \times 0.974 \times 1} = 3776.325 \approx 3777 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 75.0\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.727$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_R = \frac{112}{0.85 \times 0.727 \times 1} = 181.244 \approx 181 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6.

$$v_{12} = 181 + (3292 - 181) \times 0.436 = 1537.396 \approx 1537 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 5 carriles es de 2,250/ln y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 11.250 (3.292)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (1.537)
- Capacidad del ramal: 1.800 (181)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$

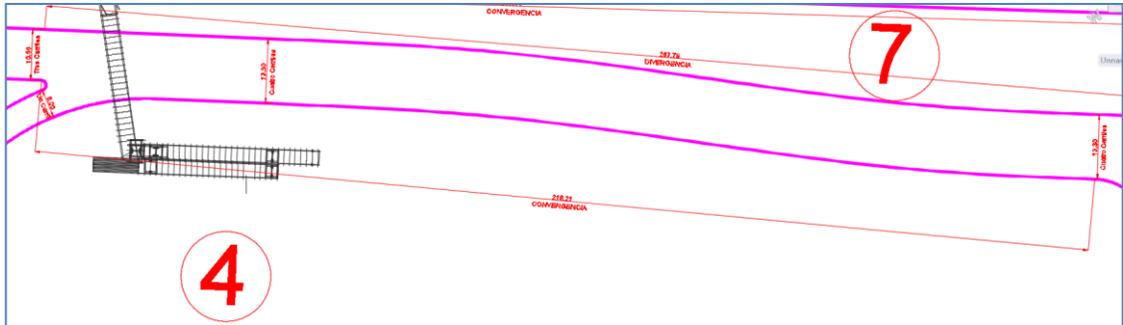
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 1770 - 0.009 \times 146.67$$

$$D_R = 16.546$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 18.154 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.1.4. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.

Figura 24. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Calle 170 sentido Occidente – Oriente

Tabla 22. Parámetros Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Sur - Oriente
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	7.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	1821 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	218.21 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	112 vehículos
		% pesados	75.0%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 7.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.962$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{1821}{0.85 \times 0.962 \times 1} = 2226.978 \approx 2227 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 75.0\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.727$$

En similar sentido, la demanda se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{112}{0.85 \times 0.727 \times 1} = 181.244 \approx 181 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 carriles:

$$V_F/S_{FR} = \frac{2227}{20} = 111.35 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R + 0.01115 \left(\frac{L^A}{S_{RF}} \right)$$
$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 181 + 0.01115 \left(\frac{218.21}{20} \right) = 0.316$$

Entonces

$$v_{12} = 2227 \times 0.316 = 703.732 \approx 704 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cuatro carriles es de 9,0 y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 704 + 181 = 885 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (1.367)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (885)
- Capacidad del ramal: 1.800 (848)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$

$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 181 + 0.0078 \times 704 - 0.00627 \times 218.21$$

$$D_R = 10.927$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 10.927 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.1.5. Troncal Calle 170.

Figura 25. Troncal (Calle 170)



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Troncal de la Calle 170

Tabla 23. Parámetros Troncal Calle 170

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Sur
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	5.1%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	2863 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	141.87 m

Segmento de vía		Rampa	
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	1042 vehículos
		% pesados	0.2%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 5.1\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.975$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{2863}{0.85 \times 0.975 \times 1} = 3454.600 \approx 3454 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.20\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.998$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_R = \frac{1042}{0.85 \times 0.998 \times 1} = 1228.339 \approx 1228 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6 para un tramo de seis carriles se utiliza la Ecuación 6, entonces

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025v_F - 0.000046v_R$$

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025 \times 3454 - 0.000046 \times 1228 = 0.617$$

Por lo tanto:

$$v_{12} = 1228 + (3454 - 1228) \times 0.617 = 2601.442 \approx 2601 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 3 carriles es de 6,75 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (3.454)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (2.601)
- Capacidad del ramal: 1.800 (1.228)

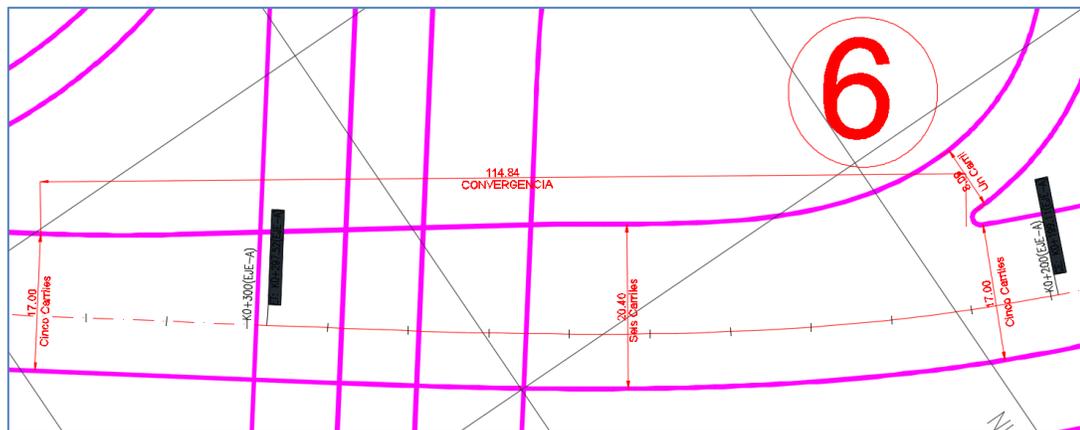
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 2601 - 0.009 \times 141.87$$
$$D_R = 25.344$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 25.344 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.1.6. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte.

Figura 26. Avenida Boyacá (Sur-Norte)



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida Boyacá sentido Sur – Norte.

Tabla 24. Parámetros Avenida Boyacá sentido Sur – Norte

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Norte
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	2.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3180 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	114.84 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	1042 vehículos
		% pesados	0.2%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 2.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.986$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3180}{0.85 \times 0.986 \times 1} = 3779.292 \approx 3794 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.20\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.998$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{1042}{0.85 \times 0.998 \times 1} = 1228.339 \approx 1228 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3.

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 carriles:

$$V_F/S_{FR} = \frac{3794}{20} = 189.7 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R + 0.01115 \left(\frac{L_A}{S_{RF}} \right)$$

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 1228 + 0.01115 \left(\frac{114.84}{20} \right) = 0.128$$

Entonces

$$v_{12} = 3794 \times 0.128 = 485.632 \approx 486 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cinco carriles es de 2,250/ln y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 486 + 1228 = 1714 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 11.250 (3.794)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (486)
- Capacidad del ramal: 1.800 (1.228)

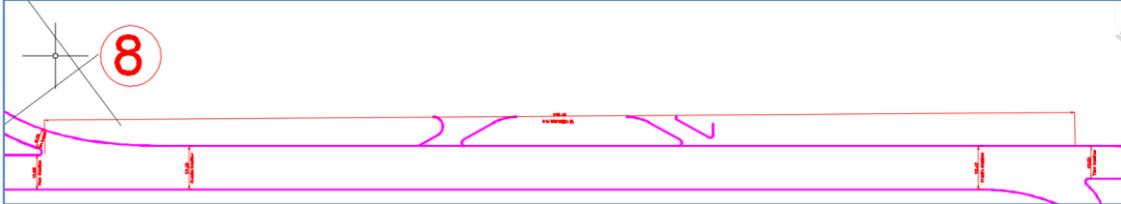
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 1228 + 0.0078 \times 486 - 0.00627 \times 114.84$$
$$D_R = 13.768$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 13.768 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio imperante (NS) B.

4.1.7. Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente.

Figura 27. Avenida Calle 170 (Oriente – Occidente)



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Calle 170 sentido Occidente – Oriente.

Tabla 25. Parámetros Avenida Calle 170 sentido Occidente – Oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Sur
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	13.6%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	2122 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	316.48 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	27 vehículos
		% pesados	7.4%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 13.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.936$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{2122}{0.85 \times 0.936 \times 1} = 2667.169 \approx 2667 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 7.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.964$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_R = \frac{27}{0.85 \times 0.964 \times 1} = 32.951 \approx 33 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6.

$$v_{12} = 33 + (2667 - 33) \times 0.436 = 1181.42 \approx 1181 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 4 carriles es de 9 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (2.667)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (1.181)
- Capacidad del ramal: 1.800 (33)

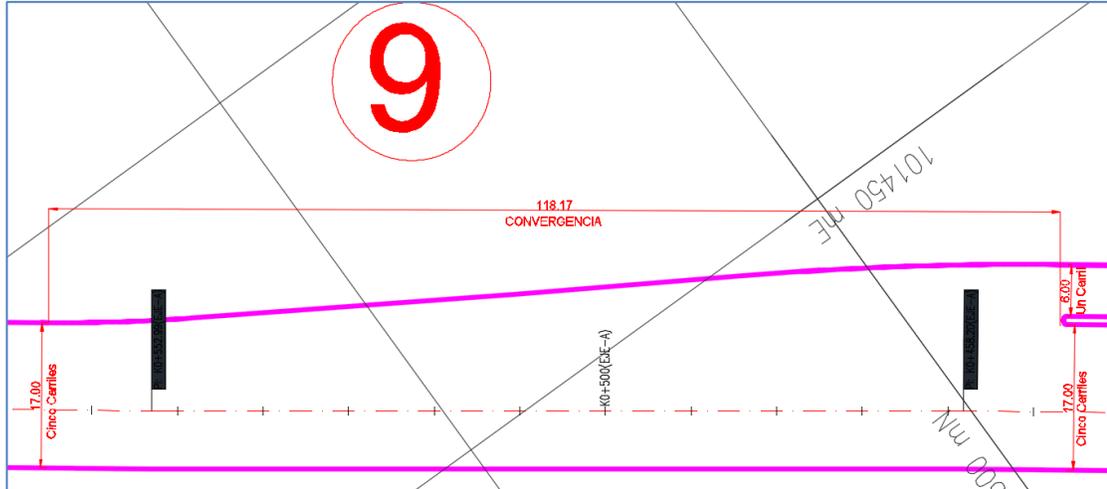
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 1181 - 0.009 \times 316.48$$
$$D_R = 11.560$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 11.560 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.1.8. Avenida Boyacá sentido Sur – Norte.

Figura 28. Avenida Boyacá sentido Sur-Norte



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida Boyacá sentido Sur-Norte

Tabla 26. Parámetros Avenida Boyacá sentido Sur-Norte

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Norte
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	5.4%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3292 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	118.17 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	27 vehículos
		% pesados	7.4%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 5.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.974$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3292}{0.85 \times 0.974 \times 1} = 3976.325 \approx 3976 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 7.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.964$$

Ecuación 1

$$v_R = \frac{27}{0.85 \times 0.964 \times 1} = 32.951 \approx 33 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 carriles:

$$V_F/S_{FR} = \frac{3976}{20} = 198.80 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R + 0.01115 \left(\frac{L_A}{S_{RF}} \right)$$
$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 33 + 0.01115 \left(\frac{118.17}{20} \right) = 0.280$$

Entonces

$$v_{12} = 3976 \times 0.280 = 1113.28 \approx 1113 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cinco carriles es de 2,250/ln y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 1113 + 33 = 1146 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 11.250 (3.976)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (1.146)
- Capacidad del ramal: 1.800 (33)

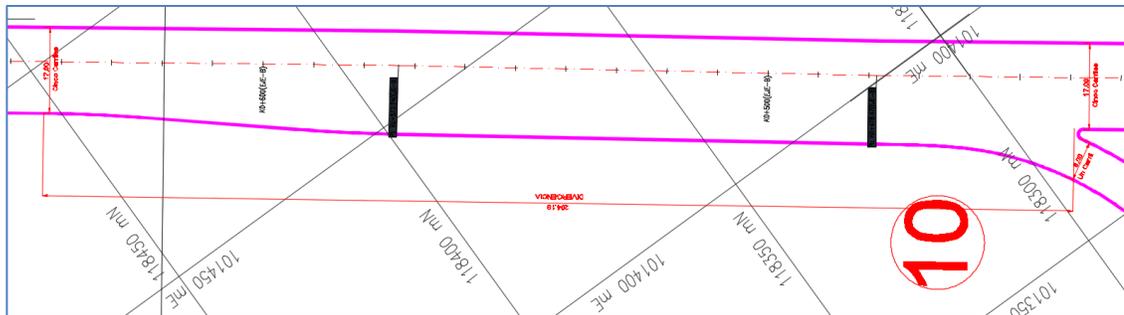
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 33 + 0.0078 \times 1113 - 0.00627 \times 118.17$$
$$D_R = 13.661$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 14.289 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.1.9. Avenida Boyacá sentido Norte – Sur.

Figura 29. Avenida Boyacá sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida Boyacá sentido Norte - Sur.

Tabla 27. Parámetros Avenida Boyacá sentido Norte - Sur

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Norte - Occidente
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	2.8%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3906 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	204.19 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	746 vehículos
		% pesados	0.9%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 2.8\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.986$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3906}{0.85 \times 0.986 \times 1} = 4660.54 \approx 4661 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.991$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{746}{0.85 \times 0.991 \times 1} = 885.617 \approx 886 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la
Tabla 6.

$$v_{12} = 886 + (4661 - 886) \times 0.436 = 2531.90 \approx 2532 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 4 carriles es de 9 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 11.250 (4.661)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (2.532)
- Capacidad del ramal: 1.800 (886)

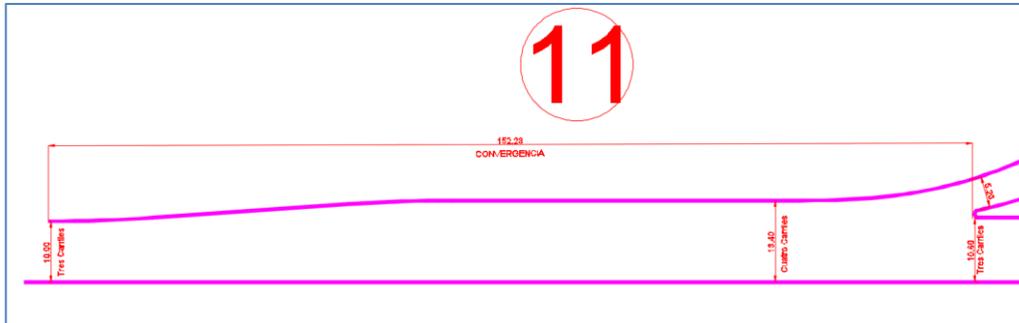
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 2532 - 0.009 \times 204.19$$
$$D_R = 24.19$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 24.19 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.1.10. Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente.

Figura 30. Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente

Tabla 28. Parámetros Avenida Calle 170 sentido Oriente – Occidente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Norte
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	12.6%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	2082 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	152.23 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	746 vehículos
		% pesados	0.9%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 12.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.941$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{2082}{0.85 \times 0.941 \times 1} = 2602.988 \approx 2603 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.991$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1

$$v_R = \frac{746}{0.85 \times 0.991 \times 1} = 885.617 \approx 885 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para seis (6) carriles:

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times L_A$$
$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times L_A = 0.582$$

Entonces

$$v_{12} = 2603 \times 0.582 = 1514.946 \approx 1515 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para tres carriles es de 6,750 y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 704 + 181 = 885 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (2.603)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (1.515)
- Capacidad del ramal: 1.800 (885)

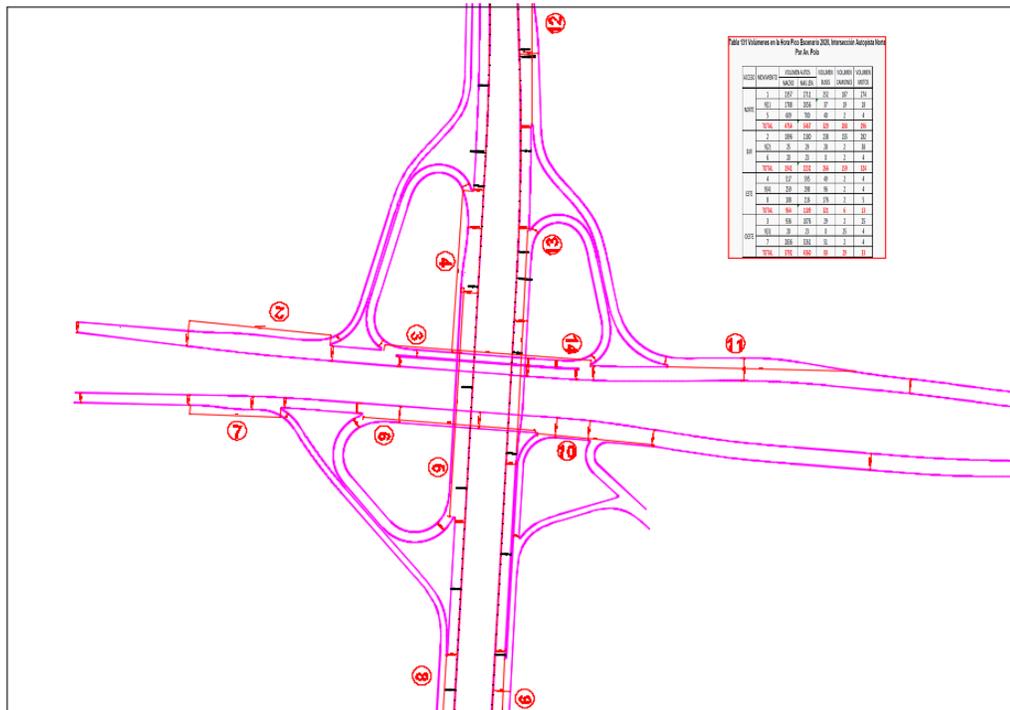
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 885 + 0.0078 \times 1515 - 0.00627 \times 152.23$$
$$D_R = 22.833$$

De conformidad con la Tabla 3, para una densidad de 22.833 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.2. Intersección Autopista Norte X Avenida El Polo

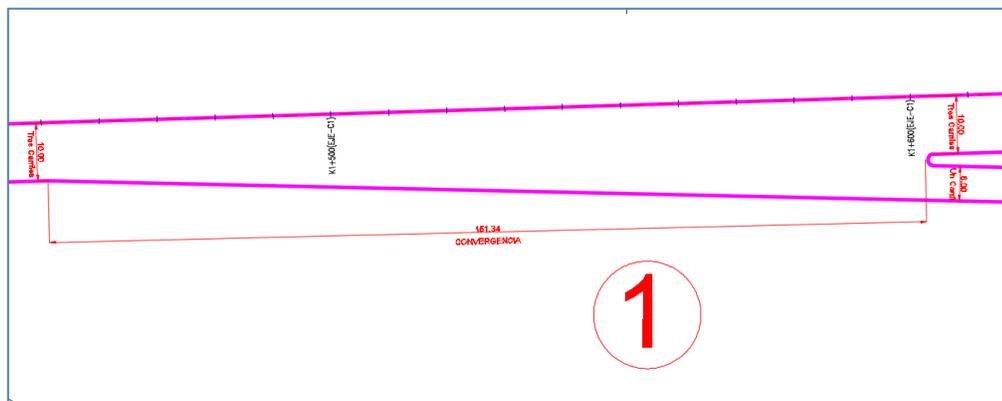
Figura 31. Intersección Autopista Norte X Avenida El Polo



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011). p. 252

4.2.1. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.

Figura 32. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Tabla 29. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Sur
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	2.4%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	4486 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración	151.34 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	50 vehículos
		% pesados	50.0%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 2.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.988$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{4486}{0.85 \times 0.988 \times 1} = 5341.748 \approx 5342 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 50.0\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.800$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_R = \frac{50}{0.85 \times 0.80 \times 1} = 73.529 \approx 74 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6 se utiliza la Ecuación 9 para un tramo de seis carriles (tres por sentido)

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025v_F - 0.000046v_R$$

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025 \times 5342 - 0.000046 \times 74$$

$$P_{FD} = 0.623$$

Entonces

$$v_{12} = 74 + (5342 - 74) \times 0.623 = 3355.96 \approx 3356 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 3 carriles es de 6,750 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (5.342)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (3.356)
- Capacidad del ramal: 1.800 (73)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$

$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 3356 - 0.009 \times 151.34$$

$$D_R = 31.75$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 31.75 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) D.

De otra parte, si se implementa un carril más por sentido,

$$P_{FD} = 0.436$$

$$v_{12} = 74 + (5342 - 74) \times 0.436 = 2370.85 \approx 2371 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 2371 - 0.009 \times 151.34$$

$$D_R = 23.28$$

De esta manera, para una densidad de 23.28 se obtiene un NS C. (Ver Tabla 3)

4.2.2. Autopista Norte sentido Norte – Sur.

Figura 33. Autopista Norte sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte sentido Norte - Sur

Tabla 30. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente-Sur
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	16.8%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	3684 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	141.00 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	50 vehículos
		% pesados	50.0%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 16.8\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.923$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{3684}{0.85 \times 0.923 \times 1} = 4695.69 \approx 4696 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 50.0\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.800$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{50}{0.85 \times 0.80 \times 1} = 73.529 \approx 74 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 carriles:

$$V_F/S_{FR} = \frac{4696}{20} = 234.80 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R + 0.01115 \left(\frac{L_A}{S_{RF}} \right)$$
$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 264 = 0.208$$

Entonces

$$v_{12} = 4635 \times 0.208 = 967.208 \approx 967 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cuatro carriles es de 9,0 y la Máxima Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 967 + 74 = 1041 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (4.635)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (1.041)
- Capacidad del ramal: 1.800 (73)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$

$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 74 + 0.0078 \times 967 - 0.00627 \times 141.00$$

$$D_R = 12.677$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 12.677 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

De otra parte, a continuación se presenta el caso de 6 carriles:

El P_{FM} se calcula a partir de la Ecuación 5. (Ver Tabla 5)

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028L_A$$

$$P_{FM} = 0.5775 - 0.000028 \times L_A$$

$$P_{FM} = 0.5775 - 0.000028 \times 141 = 0.581$$

Entonces

$$v_{12} = 4635 \times 0.581 = 2695.011 \approx 2695 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para tres carriles es de 6,750/ln y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 2695 + 74 = 2769 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (4.635)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (2.769)
- Capacidad del ramal: 1.800 (73)

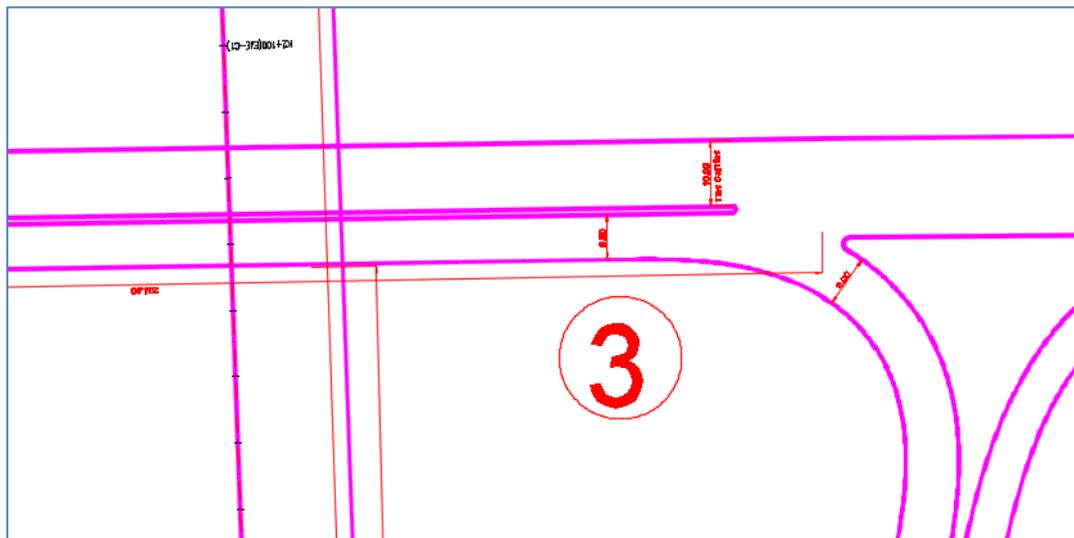
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 74 + 0.0078 \times 2769 - 0.00627 \times 141.00$$
$$D_R = 26.732$$

Según la Tabla 3 para una densidad de 26.732 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.2.3. Autopista Norte sentido Norte – Sur.

Figura 34. Autopista Norte sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte sentido Norte - Sur.

Tabla 31. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Norte – Oriente
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	6.2%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	4428 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	204.60 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	744 vehículos
		% pesados	5.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 6.2\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.970$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{4428}{0.85 \times 0.970 \times 1} = 5370.527 \approx 5371 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 5.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.973$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{744}{0.85 \times 0.973 \times 1} = 899.58 \approx 890 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6, Ecuación 10.

$$P_{FD} = 0.436$$

Entonces:

$$v_{12} = 890 + (5371 - 890) \times 0.436 = 2843.716 \approx 2844 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 4 carriles es de 9,0 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (5.342)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (2.844)
- Capacidad del ramal: 1.800 (744)

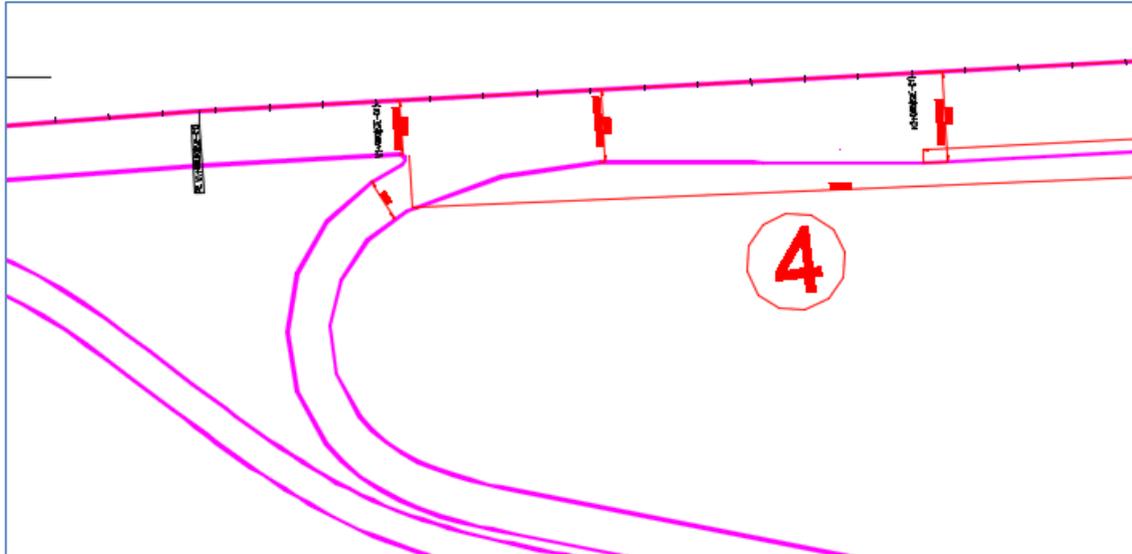
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 2844 - 0.009 \times 204.60$$
$$D_R = 26.869$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 26.869 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.2.4. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.

Figura 35. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Tabla 32. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Norte – Oriente
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	1.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	4436 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	160.47 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	744 vehículos
		% pesados	5.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 1.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.990$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{4436}{0.85 \times 0.990 \times 1} = 5271.539 \approx 5272 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 5.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.973$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{744}{0.85 \times 0.973 \times 1} = 899.58 \approx 890 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3.

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 6 carriles (tres por sentido), según Ecuación 5

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times L_A$$
$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times 160.47 = 0.582$$

Entonces

$$v_{12} = 4436 \times 0.582 = 2581.75 \approx 2582 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para tres carriles es de 6,750 y la Máxima Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 2582 + 890 = 3472 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (5.272)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (3.472)
- Capacidad del ramal: 1.800 (890)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 890 + 0.0078 \times 2582 - 0.00627 \times 160.47$$
$$D_R = 31.141$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 31.141 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) D.

4.2.5. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.

Figura 36. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la El Polo sentido Occidente – Oriente.

Tabla 33. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente - Norte
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	2.4%	Número de carriles en la rampa	DOS (2)
Volumen aguas arriba	5180 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración	227.38 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	3316 vehículos
		% pesados	1.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 2.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.988$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{5180}{0.85 \times 0.988 \times 1} = 6168.14 \approx 6168 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 1.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.999$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{3316}{0.85 \times 0.999 \times 1} = 3905.08 \approx 3905 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6, Ecuación 10.

$$P_{FD} = 0.436$$

Entonces

$$V_{12} = 3905 + (6168 - 3905) \times 0.436 = 4891.67 \approx 4892 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 4 carriles es de 9,9 y la Máxima velocidad de flujo deseable para rampas de dos carriles (v_{12}) es de 3,6.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (6.168)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (4.892)
- Capacidad del ramal: 3.600 (3.905)

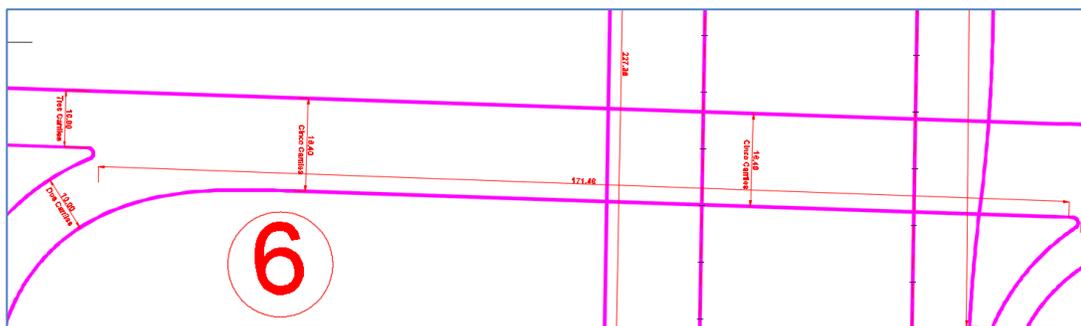
El valor calculado de v_{12} supera el máximo deseable en la zona de influencia de la divergencia, por lo cual se califica como NS F.

El valor calculado de v_R supera la capacidad del ramal, por lo cual se califica como NS F.

De acuerdo con lo anterior, una posible solución para aumentar el Nivel de servicio de este segmento de vía sería una modificación de la geometría.

4.2.6. Autopista Norte Sentido Sur – Norte.

Figura 37. Autopista Norte Sentido Sur - Norte



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte Sentido Sur - Norte

Tabla 34. Parámetros Autopista Norte Sentido Sur - Norte

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente - Norte
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	14.5%	Número de carriles en la rampa	DOS (2)
Volumen aguas arriba	2714 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	DOS (2)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	171.48 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	3316 vehículos
		% pesados	1.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 14.5\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.873$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$
$$v_T = \frac{2714}{0.85 \times 0.873 \times 1} = 3657.44 \approx 3657 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 1.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.992$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{3316}{0.85 \times 0.80 \times 1} = 3932.64 \approx 3933 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: a estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 6 carriles (tres por sentido), según Ecuación 5.

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times L_A$$

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times 171.48 = 0.582$$

Entonces

$$v_{12} = 3657 \times 0.582 = 2128.37 \approx 2128 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para tres carriles es de 6,750/ln y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa para dos carriles es de 3,6.

$$v_{R12} = 2128 + 3933 = 6061 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

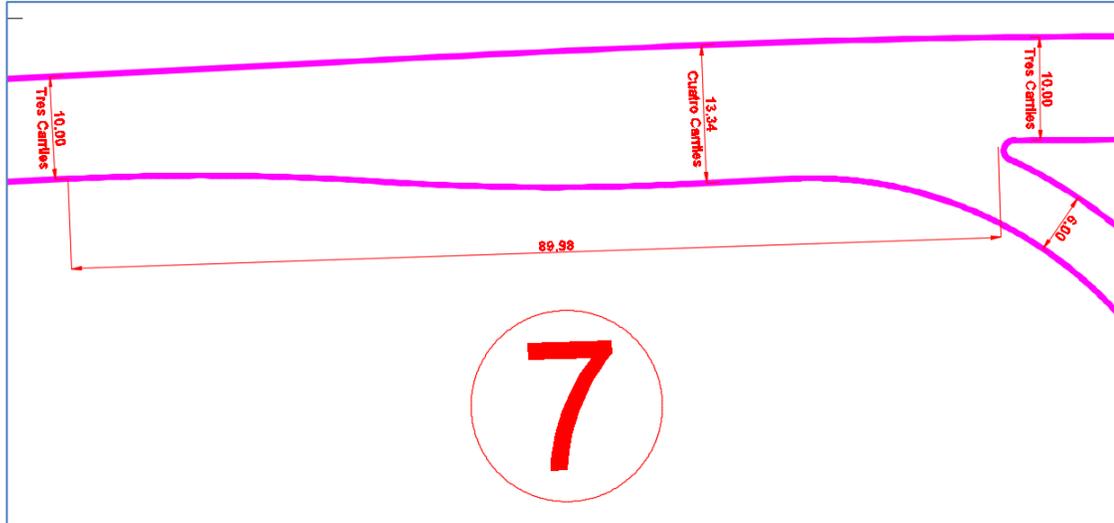
- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (3.657)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (6.061)
- Capacidad del ramal: 3.600 (3.933)

El valor calculado de v_{12} supera el máximo deseable en la zona de influencia de la convergencia, por lo cual se califica como NS F.

El valor calculado de v_R supera la capacidad del ramal, por lo cual se califica como NS F. De acuerdo con la anterior calificación, una posible solución para aumentar el nivel de servicio del tramo de vía es una modificación de la geometría.

4.2.7. Autopista Norte sentido Sur – Norte.

Figura 38. Autopista Norte sentido Sur – Norte



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte sentido Sur – Norte

Tabla 35. Parámetros Autopista Norte sentido Sur – Norte

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Sur - Oriente
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	15.1%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	2819 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración	89.98 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	105 vehículos
		% pesados	30.5%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 15.1\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.930$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{2816}{0.85 \times 0.930 \times 1} = 3562.30 \approx 3562 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 30.5\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.868$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{105}{0.85 \times 0.868 \times 1} = 142.31 \approx 142 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6 para un tramo de seis carriles (tres por sentido), se utiliza la Ecuación 6, entonces

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025v_F - 0.000046v_R$$
$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025 \times 3562 - 0.000046 \times 142 = 0.664$$

Por lo tanto:

$$v_{12} = 142 + (3562 - 142) \times 0.664 = 2412.88 \approx 2413 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 3 carriles es de 6,75 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (3.562)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (2.413)
- Capacidad del ramal: 1.800 (142)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$

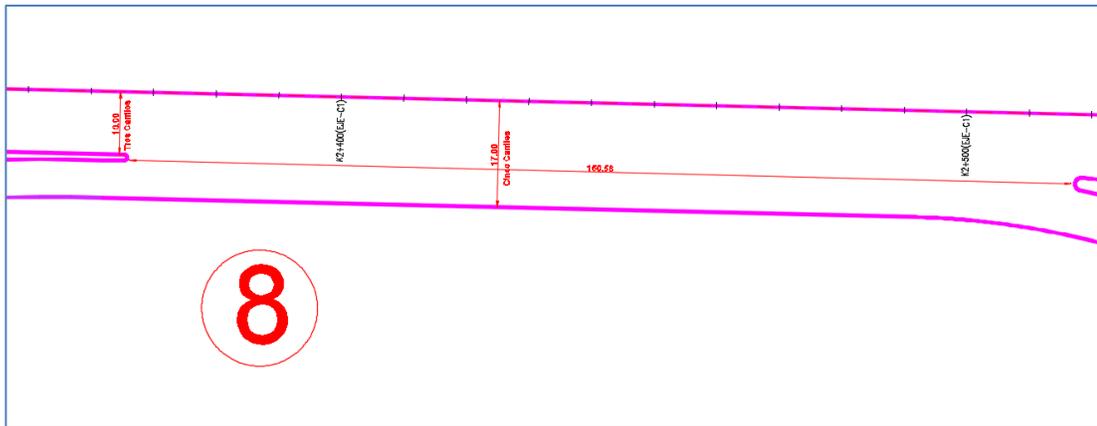
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 2413 - 0.009 \times 89.98$$

$$D_R = 24.19$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 24.19 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.2.8. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente.

Figura 39. Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Tabla 36. Parámetros Avenida El Polo sentido Occidente – Oriente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Sur - Oriente
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	3.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	1864 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	150.56 m

Segmento de vía		Rampa	
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	105 vehículos
		% pesados	30.5%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 3.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.981$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_T = \frac{1864}{0.85 \times 0.981 \times 1} = 2235.41 \approx 2235 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 30.5\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.868$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{105}{0.85 \times 0.868 \times 1} = 142.31 \approx 142 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 6 carriles (tres por sentido), según Ecuación 5

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times L_A$$
$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times 150.56 = 0.582$$

Entonces

$$v_{12} = 2235 \times 0.582 = 1300.77 \approx 1301 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para tres carriles es de 6,75 y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 1301 + 142 = 1443 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (2.235)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (1.443)
- Capacidad del ramal: 1.800 (142)

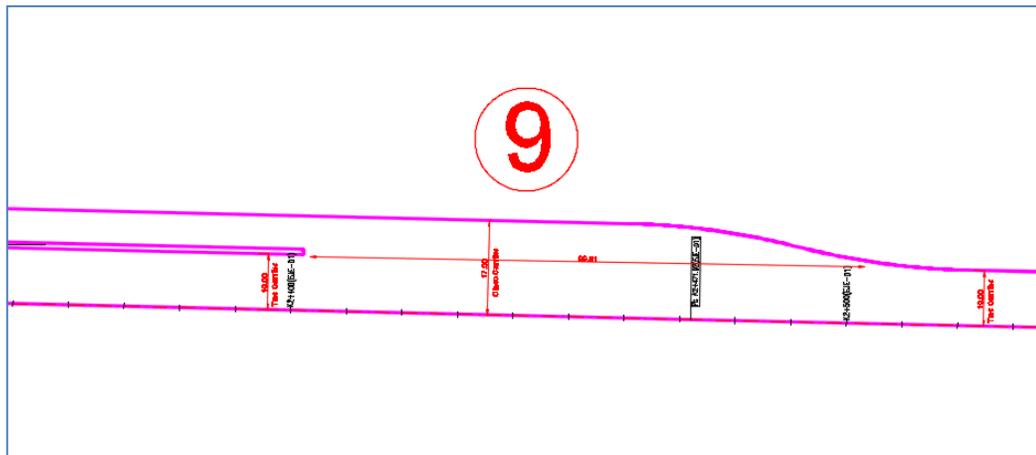
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 142 + 0.0078 \times 1301 - 0.00627 \times 150.56$$
$$D_R = 15.73$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 15.73 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio imperante (NS) B.

4.2.9. Avenida El Polo sentido Oriente – Occidente.

Figura 40. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.

Tabla 37. Parámetros Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Oriente - Norte
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	28.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	1470 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración	99.81 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	398 vehículos
		% pesados	24.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 28.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.874$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{1470}{0.85 \times 0.874 \times 1} = 1978.73 \approx 1979 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 24.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.890$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{398}{0.85 \times 0.890 \times 1} = 526.107 \approx 526 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6 se determina que el P_{FD} para un tramo de seis carriles (tres por sentido), está dado por la Ecuación 9

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025v_F - 0.000046v_R$$

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025 \times 1979 - 0.000046 \times 526 = 0.686$$

Entonces

$$v_{12} = 526 + (1979 - 526) \times 0.686 = 1522.76 \approx 1523 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 3 carriles es de 6,75 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (1.979)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (1.523)
- Capacidad del ramal: 1.800 (526)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 1523 - 0.009 \times 99.81$$
$$D_R = 16.45$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 16.45 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.2.10. Autopista Norte sentido Sur – Norte.

Figura 41. Autopista Norte sentido Sur - Norte



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte sentido Sur - Norte

Tabla 38. Parámetros Autopista Norte sentido Sur-Norte

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Oriente - Norte
Carriles	Cinco (5)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	7.4%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	6030 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	115.29 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	398 vehículos
		% pesados	24.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia. Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 7.4\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.964$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{6030}{0.85 \times 0.964 \times 1} = 7359.04 \approx 7359 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 24.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.890$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{398}{0.85 \times 0.890 \times 1} = 526.107 \approx 526 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 carriles:

$$v_F/S_{FR} = \frac{7359}{20} = 367.95 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R$$
$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 526 = 0.152$$

Entonces

$$v_{12} = 7359 \times 0.152 = 1118.57 \approx 1119 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cinco carriles es de 2,250/ln y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 1119 + 526 = 1644 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 11.250 (7.359)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (1.644)
- Capacidad del ramal: 1.800 (526)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$

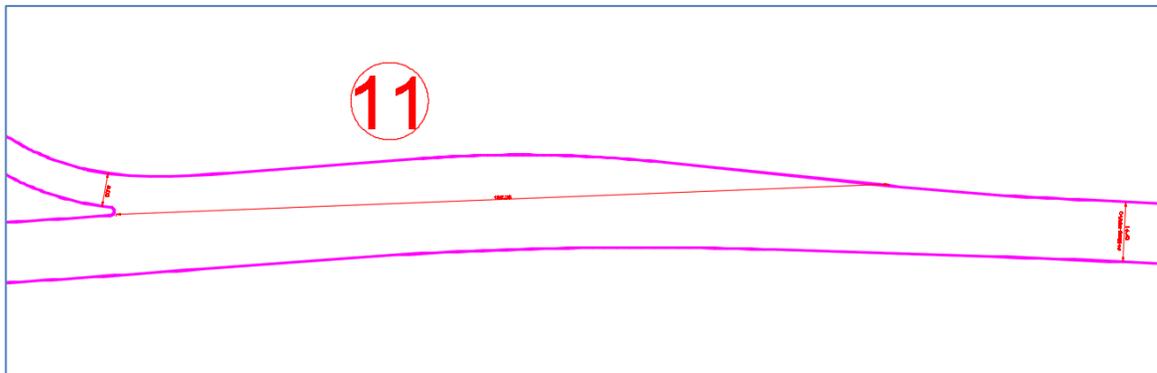
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 526 + 0.0078 \times 1119 - 0.00627 \times 115.29$$

$$D_R = 17.32$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 17.32 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.2.11. Autopista Norte sentido Norte – Sur.

Figura 42. Autopista Norte sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte sentido Norte - Sur.

Tabla 39. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Norte - Occidente
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	8.7%	Número de carriles en la rampa	DOS (2)
Volumen aguas	6152 vehículos	Número de carriles en la	UNO (1)

Segmento de vía		Rampa	
arriba		salida de la rampa	
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración	185.06 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	2121 vehículos
		% pesados	2.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 8.7\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.958$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{6152}{0.85 \times 0.958 \times 1} = 7554.96 \approx 7555 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 2.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.987$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{2121}{0.85 \times 0.987 \times 1} = 2528.16 \approx 2528 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6 para un tramo de cuatro carriles en sentido norte – sur se calcula el P_{FD} a partir de la Ecuación 10

$$P_{FD} = 0.436$$

Entonces,

$$v_{12} = 2528 + (7555 - 2528) \times 0.436 = 4719.77 \approx 4720 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 4 carriles es de 9 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (7.555)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (4.720)
- Capacidad del ramal: 3.600 (2.528)

El valor calculado de v_{12} supera el máximo deseable en la zona de influencia de la divergencia, por lo cual se califica como NS = F. De acuerdo con la anterior calificación, una posible solución para aumentar el NS del tramo de vía es la modificación de la geometría.

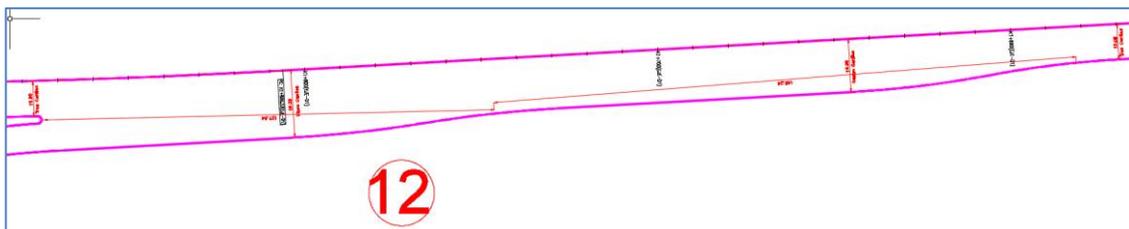
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 4720 - 0.009 \times 185.06$$
$$D_R = 43.17$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 43.17 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) F.

4.2.12. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente.

Figura 43. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la El Polo sentido Oriente - Occidente.

Tabla 40. Parámetros Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente - Sur
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	7.9%	Número de carriles en la rampa	DOS (2)
Volumen aguas arriba	675 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración $127.54+165.24 =$	292.78 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	2121 vehículos
		% pesados	2.6%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 7.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.962$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{675}{0.85 \times 0.962 \times 1} = 825.49 \approx 825 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 2.6\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.987$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{2121}{0.85 \times 0.987 \times 1} = 2528.16 \approx 2528 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta maneta la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3.

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para tres carriles en sentido oriente - occidente se calcula el P_{FM} a partir de la Ecuación 5

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times L_A$$

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000028 \times 292.78$$

$$P_{FM} = 0.586$$

Entonces

$$v_{12} = 825 \times 0.586 = 483.45 \approx 483 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para tres carriles es de 6,75 y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 483 + 2528 = 3011 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (825)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (3.011)
- Capacidad del ramal: 3.600 (2.528)

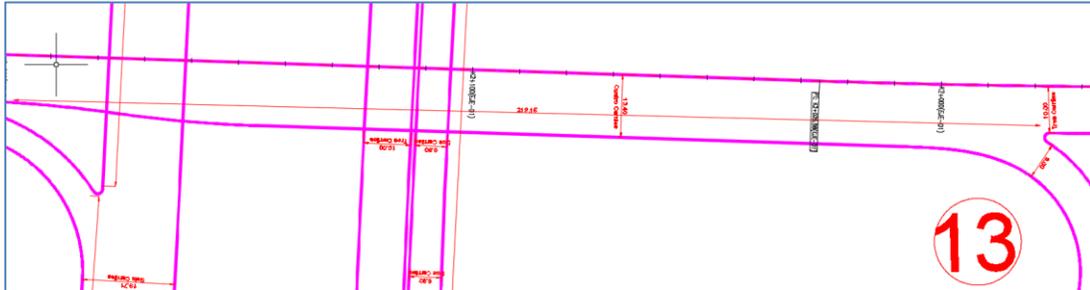
Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 2528 + 0.0078 \times 483 - 0.00627 \times 292.78$$
$$D_R = 25.96$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 25.96 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) C.

4.2.13. Avenida El Polo sentido Oriente – Occidente.

Figura 44. Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente

Tabla 41. Parámetros Avenida El Polo sentido Oriente - Occidente

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Oriente - Sur
Carriles	Tres (3)	Tipo de rampa	Divergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	: 21.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	1045 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)
FHPico	0.85	Longitud del carril de aceleración / deceleración	219.15 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	397 vehículos
		% pesados	44.9%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 21.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.901$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{1045}{0.85 \times 0.901 \times 1} = 1364.496 \approx 1364 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 44.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.817$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{397}{0.85 \times 0.817 \times 1} = 571.67 \approx 572 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Divergencia**.

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 7

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P_{FD}$$

De la Tabla 6 se utiliza la Ecuación 9 para un tramo de tres carriles en sentido oriente - occidente:

$$\begin{aligned} P_{FD} &= 0.760 - 0.000025v_F - 0.000046v_R \\ P_{FD} &= 0.760 - 0.000025 \times 1364 - 0.000046 \times 572 \\ P_{FD} &= 0.70 \end{aligned}$$

Entonces

$$v_{12} = 572 + (1364 - 572) \times 0.70 = 1126.4 \approx 1126 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para 3 carriles es de 6,750 y la Máxima velocidad de flujo deseable v_{12} es de 4,4.

De igual forma, de Tabla 9 se determinó que para rampas de un solo carril la capacidad es de 1,8.

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 6.750 (1.364)
- Intensidad máxima deseable v_{12} en la zona de influencia de la divergencia: 4.400 (1.126)
- Capacidad del ramal: 1.800 (572)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 13.

$$D_R = 4.252 + 0.0086v_{12} - 0.009L_D$$

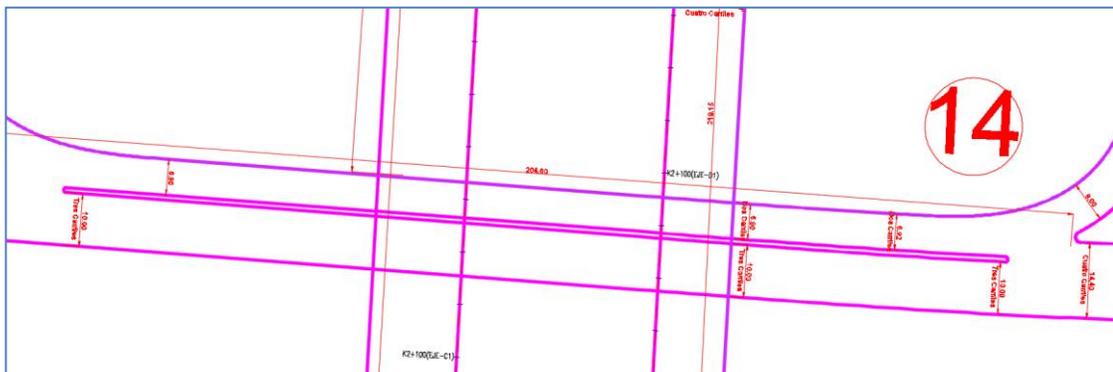
$$D_R = 4.252 + 0.0086 \times 1126 - 0.009 \times 219.15$$

$$D_R = 11.96$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 11.96 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.2.14. Autopista Norte sentido Norte – Sur.

Figura 45. Autopista Norte sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

A continuación se presentan los parámetros de entrada para el cálculo del segmento de vía ubicado en la Autopista Norte sentido Norte - Sur.

Tabla 42. Parámetros Autopista Norte sentido Norte - Sur

Segmento de vía		Rampa	
Velocidad a flujo libre (FFS)	45 mi/h (72 km/h)	Movimiento de la rampa	Occidente - Sur
Carriles	Cuatro (4)	Tipo de rampa	Convergencia
Terreno	Plano	Costado	Derecho
% pesados	11.9%	Número de carriles en la rampa	UNO (1)
Volumen aguas arriba	4031 vehículos	Número de carriles en la salida de la rampa	UNO (1)

Segmento de vía		Rampa	
FHPico	1	Longitud del carril de aceleración / deceleración	204.60 m
Factor conductor	1	Velocidad a flujo libre (FFS)	20 mi/h (32 km/h)
		Terreno	Plano
		Volumen en la rampa	397 vehículos
		% pesados	44.9%
		FHPico	1
		Factor conductor	1
		Rampas consecutivas	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en los datos del IDU (2011)

Paso 1: Una vez definidos los datos de partida y se determina la demanda en el periodo de análisis de 15 minutos a partir de la demanda en la hora de referencia.

Para lo cual se calcula el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (f_{HV}) de la Ecuación 2.

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

En donde E_T y E_R se obtienen de la Tabla 4.

Para el tronco:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 11.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.944$$

Posteriormente, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF * f_{HV} * f_p}$$

$$v_T = \frac{4031}{0.85 \times 0.944 \times 1} = 5023.68 \approx 5024 \text{ veh} - \text{lig/h}$$

Para el ramal:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 44.9\%(1.5 - 1) + 0(1.2 - 1)} = 0.817$$

En similar sentido, la demanda en se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$v_R = \frac{397}{0.85 \times 0.817 \times 1} = 574.68 \approx 575 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 2: La estimación de la demanda de los carriles 1 y 2 de la autopista en la sección situada inmediatamente corriente-arriba de la zona de influencia del ramal se determinan a partir de las ecuaciones establecidas para el **Caso Convergencia**

De esta manera la velocidad de flujo en los carriles 1 y 2 se obtiene a partir de la Ecuación 3.

$$v_{12} = v_F \times P_{FM}$$

De la Tabla 5 para 8 Carriles el P_{FM} a partir de la Ecuación 6

$$V_F/S_{FR} = \frac{5024}{20} = 251.20 > 72$$

Luego

$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times v_R$$
$$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 \times 575 = 0.146$$

Entonces

$$v_{12} = 5024 \times 0.146 = 733.50 \approx 734 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Paso 3: La estimación de la capacidad de la conexión ramal-autopista se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$v_{R12} = v_{12} + v_R$$

De la Tabla 7 se determinó que la capacidad del segmento de vía para cuatro carriles es de 9 y la Max. Velocidad de flujo deseable (V_{R12}) es de 4,6

De conformidad con la Tabla 9 la capacidad de la rampa es de 1,8.

$$v_{R12} = 734 + 575 = 1309 \text{ veh} - \text{lig}/h$$

Verificación:

- Capacidad en el segmento de autopista corriente-arriba 9.000 (5.024)
- Intensidad máxima deseable v_{R12} en la zona de influencia de la convergencia: 4.600 (1.309)
- Capacidad del ramal: 1.800 (575)

Paso 4: Por último se determina la densidad en la zona de influencia del ramal por medio de la Ecuación 12.

$$D_R = 5.475 + 0.00734v_R + 0.0078v_{12} - 0.00627L_A$$
$$D_R = 5.475 + 0.00734 \times 575 + 0.0078 \times 734 - 0.00627 \times 204.60$$
$$D_R = 14.138$$

De conformidad con la Tabla 3 para una densidad de 14.138 el segmento de divergencia analizado presenta un nivel de servicio (NS) B.

4.3. Resultados Estudio de Tránsito IDU (2011) - HCM (2000)

Tabla 43. Resultados simulación año 2020

INTERSECCIÓN	Demoras (seg/veh)	Volúmenes (Vehículos)	Nivel de Servicio
Av. Boyacá x Av. San José (Calle 170)	5,40	12142	A
Auto. Norte X Av. El Polo	24,70	14234	C

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados

Como se aprecia en la Tabla 43, la evaluación realizada por el IDU para las intersecciones Av. Boyacá x Av. San José (Calle 170) y Auto. Norte X Av. El Polo, presentaron demoras de 5,40 seg/veh y 24,70 seg/veh, obteniendo un Nivel de servicio de A y C, respectivamente.

4.4. Resultados metodología HCM (2010)

Tabla 44. Resultados Metodología HCM (2010) – Intersección Avenida Boyacá x Avenida San José

INTERSECCIÓN	PUNTO	NOMBRE	SENTIDO	TIPO	DENSIDAD	NS
Av. Boyacá x Av. San José (Calle 170)	1	Av. Cl 170	W-E	Divergencia	18,154	B
	2	Av. Boyacá	N-S	Convergencia	14,289	B
	3	Av. Boyacá	S-N	Divergencia	16,546	B
	4 y 7	Av. Cl 170	W-E	Convergencia	10,927	B
	5	Troncal CL 170		Divergencia	25,344	C
	6	Av. Boyacá	S-N	Convergencia	13,768	B
	8	Av. Cl 170	W-E	Divergencia	11,560	B
	9	Av. Boyacá	S-N	Convergencia	13,661	B
	10	Av. Boyacá	N-S	Divergencia	24,190	C
	11	Av. Cl 170	E-W	Convergencia	22,833	C
	Auto. Norte X Av. El Polo	1	Av. El Polo	W-E	Divergencia	31,750
1		Av. El Polo	W-E	Divergencia	23,280	C
2		Auto. Norte	N-S	Convergencia	12,677	B
3		Auto. Norte	N-S	Divergencia	26,869	C
4		Av. El Polo	W-E	Convergencia	31,141	D
5		Av. El Polo	W-E	Divergencia		F
6		Auto. Norte	S-N	Convergencia		F
7		Auto. Norte	S-N	Divergencia	24,190	C
8		Av. El Polo	W-E	Convergencia	15,730	B
9		Av. El Polo	E-W	Divergencia	16,450	B
10		Auto. Norte	S-N	Convergencia	17,320	B
11		Auto. Norte	N-S	Divergencia	43,170	F
12		Av. El Polo	E-W	Convergencia	25,960	C
13		Av. El Polo	E-W	Divergencia	11,960	B
14	Auto. Norte	N-S	Convergencia	14,130	B	

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el cálculo del Nivel de Servicio de cada nodo de la intersección, teniendo en cuenta si se trata de una divergencia o convergencia, el parámetro de calificación es densidad.

4.5. Comparativo de Resultados

Tabla 45. Comparativo de resultados

INTERSECCIÓN	CALIFICACIÓN	
	NS - HCM 2000	NS - HCM 2010
Av. Boyacá x Av. San José (Calle 170)	A	B - C
Auto. Norte X Av. El Polo	C	B - C - D - F

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las Tabla 44 y Tabla 45 los resultados obtenidos por el método del HCM 2010, se observa que las zonas de convergencia y divergencia existentes en la intersección de la Avenida Boyacá con Avenida San José presentan Niveles de Servicio entre B y C; mientras que la calificación obtenida por el IDU utilizando en HCM-2000 la intersección obtiene una calificación A.

De los resultados obtenidos por el método del HCM (2010), se observa que las zonas de convergencia y divergencia existentes en la intersección de la Avenida El Polo con Autopista Norte presentan Niveles de Servicio entre B y F; mientras que la calificación obtenida por el IDU utilizando en HCM (2000) la intersección obtiene una calificación C.

La calificación realizada por el IDU, aplicando el HCM (2000), fue realizada utilizando como parámetro el indicador de DEMORAS; el análisis ejecutado, utilizando las recomendaciones del HCM (2010), califica el Nivel de Servicio de los elementos de la intersección utilizando el parámetro de “*Densidad*”.

En los cruces analizados se proponen intersecciones a desnivel, la circulación en dicha infraestructura no contiene causas fijas que produzcan demoras o interrupciones ajenas a la corriente de tráfico, por lo cual la condición de circulación se considera ininterrumpida. Las maniobras de entradas y salidas de cada uno de los troncos principales se realizan utilizando ramales, generando maniobras de Convergencia o Divergencia, por lo cual el parámetro para calificar el Nivel de Servicio para el flujo vehicular debe ser “*Densidad*”. (HCM 2010, Cap. 2, tabla 2-2, p. 6).

En el análisis realizado en la intersección de la Avenida El Polo con Autopista Norte, utilizando la metodología del HCM-2010, se obtienen cálculos de valores de Nivel de Servicio que superan la calificación de C, llegando a F para las zonas de divergencia 5 y 11, y la convergencia 6. En el caso de las zonas 5 y 6, el principal factor que influye en su calificación es que la capacidad del ramal diseñado es inferior a la demanda, por lo cual se requiere modificar la intersección, ofreciendo un ramal que atienda el movimiento occidente-norte con una geometría de al menos dos carriles con una velocidad de diseño superior a 50 km/h. Para la zona de divergencia 11, movimiento norte-occidente, teniendo en cuenta que el impacto sobre la calificación se debe al alto volumen en los carriles 1 y 2 del tronco de la autopista norte (v_{12}), se recomienda manejar este punto como una bifurcación y no como una divergencia, para disminuir la turbulencia sobre el tronco principal.

5. Conclusiones

El parámetro de calificación utilizado por el IDU, para determinar el Nivel de Servicio de las intersecciones en estudio fue “*Demora*”; mientras que el empleado en el análisis desarrollado en el presente trabajo fue “*Densidad*”.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo utilizando la metodología del HCM2010, para el nivel de servicio de las intersecciones de la Avenida Boyacá x Avenida San José (calle 170) y Avenida El Polo x Autopista norte, son diferentes a los presentados en el informe de Estudio de Tránsito realizado por el IDU, teniendo en cuenta que este último desarrolló en su análisis un modelo de microsimulación para la red en estudio y calificó las intersecciones mediante el cálculo de demoras, y no mediante la evaluación de densidad como lo solicita el HCM (2010).

La calificación obtenida para las zonas de divergencia y convergencia de las intersecciones, utilizando el método del HCM (2010), difiere de la calificación presentada por el IDU en su Estudio de Tránsito para las intersecciones analizadas.

La investigación desarrollada para la elaboración del presente trabajo, además de presentar los resultados de la evaluación de la infraestructura evaluada, expone de manera evidente como la evolución o la manera de aplicar una metodología de análisis, aun partiendo de los mismos datos de partida, puede llevar a resultados diferentes que son tomados como válidos para la toma de decisión por parte de administradores o dueños de la infraestructura.

De acuerdo con el análisis de las fórmulas del HCM (2010), el Nivel de Servicio en las zonas de convergencia y divergencia en una intersección es directamente dependiente de los volúmenes de tránsito que se encuentran, tanto en el tronco principal como en la rampa, así como de la geometría prevista para la maniobra y a la existencia de carriles de aceleración y/o desaceleración.

La turbulencia ocasionada por los cambios de carril, en la zona de influencia de las maniobras convergencia y divergencia, impacta de manera significativa en el

comportamiento del tráfico aguas arriba sobre el tronco principal, por lo cual afecta el comportamiento y calificación del nivel de servicio.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo utilizando la metodología del HCM (2010), para el nivel de servicio de las intersecciones de la Avenida Boyacá x Avenida San José (calle 170) y Avenida El Polo x Autopista norte, son diferentes a los presentados en el informe de Estudio de Tránsito realizado por el IDU (2011), teniendo en cuenta que este último desarrolló en su análisis un modelo de microsimulación para la red en estudio y calificó las intersecciones mediante el cálculo de demoras, y no mediante la evaluación de densidad como lo recomienda el HCM (2010).

6. Referencias Bibliográficas

ATC (2002). Diccionario Técnico Vial de la A.I.P.C.R. Parte III Definiciones. Comité nacional español de la Asociación Mundial de la carretera. Asociación Técnica de Carreteras. 7ª Edición. Español – Francés – Inglés. Madrid, España. 235 p. En [línea] 2018. [Citado 2018-05-15]. Recuperado de:

http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos_de_Interes/2011/Diccionario%20TECNICO%20VIAL.pdf

HCM (2000). Manual de capacidad de carreteras. TRB, National Research Council, Washington, D.C. 1.207 p.

HCM (2010). Manual de capacidad de carreteras. Capítulo 11. Tramos básicos de autopistas. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 52 p.

HCM (2010). Manual de capacidad de carreteras. Capítulo 13. Tramos de convergencia y divergencia en autopistas. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 60 p.

IDU (2011). Factibilidad Plan de Ordenamiento Zonal del Norte. Estudio de tránsito y transporte Anillo 1. Versión 3. Bogotá D.C. Marzo de 2011. 335 p.

SDP (2010). Plan de ordenamiento zonal borde norte Bogotá D.C. 219 p. En [línea] 2018. [Citado 2018-05-13]. Recuperado de:

http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Plan_Zonal_Norte/Documento_Tecnico_Soporte_POZ-SDP-2010.pdf XXXX

Leyes y Decretos

Decreto 043 de 2010. Derogado por el art. 225, Decreto Distrital 088 de 2017, a excepción del artículo 90 que continúa vigente. Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte y se dictan otras disposiciones. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. En [línea] 2018. [Citado 2018-05-13]. Recuperado de:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38737#>