

**EVALUACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR EN LA
INTERSECCIÓN DE LA CARRERA 70 CON LA CALLE 9
POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA SUBTERRÁNEA
EN EL AEROPUERTO ENRIQUE OLAYA HERRERA**

**CATALINA BLAIR SIERRA
DANIEL ALEJANDRO GUEVARA ARISTIZÁBAL**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil

SANDRA LUCÍA RUIZ ARBELÁEZ
Ingeniera Civil, Especialista en Vías y Transporte,
Magister en Planeación Urbano- Regional



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2012**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración y la dedicación a todas las personas que de una u otra manera aportaron con su conocimiento y acompañamiento al desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Donald Calle por su acompañamiento y asesoría en los conceptos de modelación y simulación de tránsito.

A los estudiantes de la materia tránsito y transporte por la disposición y ayuda para realizar los aforos vehiculares.

Al área metropolitana por suministrar información relevante para el desarrollo de este proyecto.

A nuestra directora la ingeniera Sandra Lucía Ruiz por su acompañamiento, dedicación y aportes a lo largo de todo el trabajo.

A nuestros familiares y amigos por su acompañamiento durante todo el proceso.

Gracias!

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1 PRELIMINARES.....	19
1.1 Planteamiento del problema	19
1.2 Objetivos del proyecto.....	20
1.2.1 Objetivo General.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 Marco de referencia	21
1.3.1 Generalidades	21
1.3.2 Volumen de tránsito.....	21
1.3.3 Velocidad.....	22
1.3.4 Estudios de tránsito	23
1.3.5 Conteos o aforos vehiculares	23
1.3.6 Estudio origen y destino	24
1.3.7 Simulación de tráfico vehicular	24
1.3.8 Intersecciones viales	25
2 METODOLOGÍA.....	33
2.1 Preliminares	33
2.1.1 Planteamiento de problema	34
2.1.2 Planteamiento de la situación deseada	34
2.2 Recolección de la información	34
2.2.1 Información primaria	35
2.2.2 Información secundaria	35

2.3	Procesamiento y análisis de la información	36
2.3.1	Información primaria	36
2.3.2	Información secundaria	37
2.4	Simulación	37
2.4.1	Definición de modelo	37
2.4.2	Escenarios de simulación	37
2.4.3	Selección del software.....	38
2.4.4	Construcción y ejecución del modelo.....	38
2.4.5	Diseño geométrico.....	38
2.5	Análisis de resultados.....	39
2.6	Formulación de conclusiones y recomendaciones	39
2.7	Diagrama de flujo de la metodología utilizada	40
3	DESARROLLO DEL PROYECTO	41
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL MODELO	41
3.1.1	Configuración actual de la intersección de la Carrera 70 con la Calle 9.....	41
3.1.2	Definición del tipo de simulación y software a implementar	42
3.1.3	Datos de entrada.....	43
3.1.4	Datos de salida del software.....	44
3.1.5	Escenarios de simulación	45
3.2	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	45
3.2.1	Estudios de campo	45
3.2.2	Escenario base.....	53
3.2.3	Escenario 2	65
3.2.4	Escenario 3	69

3.2.5	Escenario 4	76
3.3	SIMULACIÓN	77
3.3.1	Escenario base.....	77
3.3.2	Escenario 2	84
3.3.3	Escenario 3	88
3.3.4	Escenario 4	94
4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	100
4.1	Escenario 1 (base).....	100
4.2	Escenario 2	101
4.3	Escenario 3	101
4.4	Escenario 4	102
5	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	106
	ANEXOS	107

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Volumen de tránsito y sus aplicaciones.....	22
Tabla 2. Velocidad y sus aplicaciones.	23
Tabla 3. Criterio del nivel de servicio (LOS).....	32
Tabla 4. Parámetros geométricos	46
Tabla 5. Tiempo de fases acceso norte	49
Tabla 6. Tiempo de fases acceso occidental	51
Tabla 7. Factores de equivalencia vehicular.	53
Tabla 8. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso sur, maniobra hacia el frente.	54
Tabla 9. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia el frente.	55
Tabla 10. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia la derecha.....	57
Tabla 11. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la izquierda.	59
Tabla 12. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la derecha.....	61
Tabla 13. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Total de la intersección.	63
Tabla 14. Total parque automotor para el periodo 2007-2011.....	66
Tabla 15. Crecimiento promedio anual para el periodo 2007-2011.	66
Tabla 16. Factores de proyección para el escenario 2 para cada año comprendido en el periodo año 2012- 2020.....	67

Tabla 17. Volúmenes proyectados para el escenario 2 para cada año comprendido en el periodo año 2012-2020.....	67
Tabla 18. Resumen de las cargas medias para el proyecto “Construcción de vía subterránea (túnel aeropuerto EOH) para la conexión de la calle 10 con las laterales de la quebrada La Guayabala” a partir de los Planes 2, 3, 4 y 5 (Optimizado).	72
Tabla 19. Factores de proyección para el escenario 3 para cada año comprendido en el periodo año 2012- 2020.....	74
Tabla 20. Volúmenes proyectados para el escenario 3 para cada año comprendido en el periodo año 2012-2020.....	74
Tabla 21. Parámetros geométricos de la intersección para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	78
Tabla 22. Tiempos de fases semafóricas para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	80
Tabla 23. Resumen de resultados por acceso y maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	81
Tabla 24. Tiempos de fases semafóricas para el escenario 2. (fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	84
Tabla 25. Resumen de resultados por maniobra del escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	85
Tabla 26. Parámetros geométricos de la intersección para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	88
Tabla 27. Tiempos de fases semafóricas para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	91
Tabla 28. Resumen de resultados por maniobra del escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	91
Tabla 29. Parámetros geométricos de la intersección para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	95
Tabla 30. Tiempos de fases semafóricas para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	96
Tabla 31. Resumen de resultados por maniobra del escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	97

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema base para la intersección en “Y” o “T” (Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2008) del Instituto Nacional de Vías, Colombia).....	27
Figura 2. Esquema base para la intersección en cruz “+” o equis “X” (Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2008) del Instituto Nacional de Vías, Colombia).....	28
Figura 3. Esquema resumen de la metodología. (Fuente: elaboración propia).	40
Figura 4. Localización general de la intersección (Fuente: Google Earth 2012).....	41
Figura 5. Geometría actual de la intersección (Fuente: elaboración propia).....	46
Figura 6. Esquema actual de maniobras en la intersección de la carrera 70 con la calle 9. Las flechas blancas indican las maniobras permitidas y las rojas las no permitidas. (Fuente: elaboración propia).....	47
Figura 7. Esquema de toma de fotos (el sentido de la flecha indica hacia donde está mirando el fotógrafo). (Fuente: elaboración propia).	47
Figura 8. Volumen horario en la hora de máxima demanda. Acceso sur; maniobra hacia el frente.	54
Figura 9. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso sur; maniobra hacia el frente.	55
Figura 10. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia el frente.	56
Figura 11. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia el frente.	57
Figura 12. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia la derecha.	58
Figura 13. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia la derecha.....	59
Figura 14. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la izquierda.....	60

Figura 15. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la izquierda.	61
Figura 16. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la derecha.	62
Figura 17. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la derecha.	63
Figura 18. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Total de la intersección.	64
Figura 19. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Total de la intersección.	65
Figura 20. Configuración geométrica de la intersección para el escenario 3 con base en los diseños elaborados por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín.	70
Figura 21. Esquema de maniobras de la intersección con base en los diseños elaborados por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín.	71
Figura 22. Líneas de deseo para las zonas seleccionadas de las comunas 14, 15 y 16. .	73
Figura 23. Configuración geométrica de la intersección para el escenario 4. (Fuente: elaboración propia).	77
Figura 24. Modelo de la intersección para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	78
Figura 25. Identificación de maniobras por acceso para el escenario base. (fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	79
Figura 26. Volúmenes (veq/h) ingresados en el software discriminados por acceso y maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	79
Figura 27. Esquema de fases semafóricas ingresadas para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	80
Figura 28. Volúmenes vehiculares reportados para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	81
Figura 29. Capacidad en vehículos equivalentes por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	82
Figura 30. Grado de saturación por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTSERESCTION 5.1).	82

Figura 31. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	83
Figura 32. Nivel de servicio por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	83
Figura 33. Volúmenes vehiculares (veq/h) ingresados en el software discriminados por acceso y maniobra para el escenario 2 con la proyección 1. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	84
Figura 34. Volúmenes vehiculares (veq/h) reportados para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	85
Figura 35. Capacidad en vehículos equivalentes (veq/h) por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	86
Figura 36. Grado de saturación por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTSERECTION 5.1).	86
Figura 37. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	87
Figura 38. Nivel de servicio por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	87
Figura 39. Modelo de la intersección para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	89
Figura 40. Identificación de maniobras escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	89
Figura 41. Volúmenes (veq/h) ingresados en el software discriminados por acceso y maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	90
Figura 42. Esquema de fases semafóricas para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	90
Figura 43. Volúmenes vehiculares (veq/h) reportados para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	92
Figura 44. Capacidad en vehículos equivalentes (veq/h) por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	92
Figura 45. Grado de saturación por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTSERECTION 5.1).	93

Figura 46. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	93
Figura 47. Nivel de servicio por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	94
Figura 48. Modelo de la intersección para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	96
Figura 49. Volúmenes vehiculares (veq/h) reportados para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	97
Figura 50. Capacidad en vehículos equivalentes (veq/h) por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	98
Figura 51. Grado de saturación por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTSERESECTION 5.1).	98
Figura 52. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	99
Figura 53. Nivel de servicio por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).	99
Figura 54. Porcentaje de variación entre los volúmenes vehiculares (veq/h) medidos y simulados.	100
Figura 55. Programas del PMMVA. [Fuente: Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá]	108
Figura 56. Diagrama de la metodología utilizada en el PMMVA (Parte A). [Fuente: Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá]	109
Figura 57. Diagrama de la metodología utilizada en el PMMVA (Parte B). [Fuente: Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá].	110

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Acceso norte. El observador está parado en el acceso norte mirando hacia el sur. (Fuente: elaboración propia).....	48
Foto 2. Maniobra hacia la derecha en el acceso norte. El observador está parado en el acceso occidental mirando hacia el oriente. (Fuente: elaboración propia).	49
Foto 3. Acceso sur. El observador está parado en el acceso sur mirando hacia el norte. (Fuente: elaboración propia).....	50
Foto 4. Paradero de buses en el acceso sur. El observador está parado en el acceso sur mirando hacia el sur. (Fuente: elaboración propia).	50
Foto 5. Señal de parada de buses en el acceso sur. El observador está parado en el acceso sur mirando hacia el norte. (Fuente: elaboración propia).	51
Foto 6. Acceso occidental. El observador está parado en el acceso occidental mirando hacia el oriente. (Fuente: elaboración propia).	52
Foto 7. Maniobra hacia la derecha del acceso occidental. El observador está parado en el acceso occidental mirando hacia el sur. (Fuente: elaboración propia).	52

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Resumen del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle Aburrá.....	107
---	-----

GLOSARIO

CALIBRACIÓN DEL MODELO: ajustar los parámetros que trae incorporados por defecto el software de simulación a las condiciones locales.

DATOS DE ENTRADA: información requerida por el software para la construcción del modelo.

DATOS DE SALIDA: información que suministra el software de simulación luego de procesar los datos ingresados por el usuario.

DEPRIMIDO: vía subterránea que atraviesa debajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera.

ESCENARIO: conjunto de circunstancias que se tienen en cuenta para realizar la simulación.

FLUJO VEHICULAR: número de vehículos que transitan por la vía en un momento y lugar determinado.

MANIOBRA: movimiento de un vehículo en un momento y lugar determinado. En este trabajo se definen dos tipos de maniobras las permitidas y las no permitidas.

MODELO: conjunto de los elementos físicos de las vías y los elementos funcionales de la intersección que se ingresan al software para predecir el comportamiento de tráfico vehicular.

RESUMEN

La ubicación del aeropuerto Enrique Olaya Herrera dentro del área urbana del municipio de Medellín se impone como una barrera artificial, que por su extensión y ubicación, genera problemas de conectividad vial. Esto se ve reflejado en la falta de una conexión directa entre las comunas de Belén y Guayabal, lo cual ocasiona extra recorridos, mayores tiempos de viaje y congestiones para los habitantes de estas zonas, rutas de transporte público y aquellos que confluyen ocasional o constantemente a este sector.

Esta situación no ha sido ajena al conocimiento de la comunidad en general y de las entidades competentes. En la actualidad existe la concepción de nuevos proyectos viales con los cuales se pretende buscar soluciones de movilidad para la ciudad de Medellín, uno de estos es el proyecto “Conexión de la calle 10 con las paralelas a la quebrada La Guayabala”, planteado en un principio en el Plan Vial Metropolitano del año 1986 y retomado en la actualidad mediante el Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle Aburrá, donde figura el año 2020 como el año en el que entraría a operar el proyecto mencionado.

La construcción de la vía subterránea atraería viajes que en la actualidad se efectúan por otras rutas, generaría nuevos viajes y además podría incrementar considerablemente los flujos vehiculares en algunas maniobras respecto a lo que se presenta hoy en día, razón por la cual se realizó un análisis detallado de las zonas directamente influenciadas, evaluando el estado actual y futuro de algunos puntos críticos como es la intersección de la carrera 70 con la calle 9, cruce que estaría directamente influenciado en el caso de llegar a ejecutarse este proyecto al quedar ubicado en el portal de acceso occidental del deprimido.

Para el análisis del comportamiento del flujo vehicular de la intersección se realizó una microsimulación de tráfico en el software SIDRA INTERSECTION 5.1 para los escenarios con y sin proyecto, en la actualidad y en el año 2020. Lo anterior implicó la construcción de un modelo a partir de las características geométricas, del tránsito y del comportamiento vehicular presente en la intersección, parámetros que se determinaron en campo. Además, se propone el diseño geométrico horizontal para el empalme de la intersección con el portal occidental del deprimido, tanto de la configuración realizada por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín como en una de elaboración propia.

Una vez construido el modelo para cada uno de los escenarios se realizó la calibración del mismo y el proceso de simulación, donde se ejecutó la corrida de dicho modelo. A partir de un análisis de los resultados obtenidos se presentan las observaciones de la simulación de la intersección de acuerdo a los niveles de servicio y saturación, los tiempos de demora y los volúmenes vehiculares discriminados tanto por acceso como por carril.

Palabras clave: deprimido, flujo vehicular, intersección, microsimulación, nivel de servicio, SIDRA INTERSECTION 5.1.

ABSTRACT

Medellin's local airport, Enrique Olaya Herrera, constitutes an artificial barrier that due to its location and extension generates road connectivity problems. This is reflected in the lack of direct connection between the Belen and Guayabal neighborhood's, implying longer travel distances, time and traffics jams for the residents of these areas, public transportation and those who occasionally or constantly converge to this sector.

The community and the competent state agencies have recognized this problem. Currently there are new road projects which pretends to find mobility solutions to Medellín, one of then named "Conexión de la calle 10 con las paralelas a la quebrada La Guayabala", which was included at the beginning in the Meproplitan Road Plan of 1986 and resumed today by the Mobility Master Plan for the Metropolitan Region of the Aburrá Valley. In this plan the aforementioned project will start its operation in 2020.

The construction of the underground road would attract new trips which today are done through other roads, will generate new trips and also significantly increased traffic flow in some movements on what is presented today. For this reason a very detailed analysis of the influence zones was done in order to assess the actual and the future state of some critical points such as the intersection of the 9th and the 70th street. In case of the development of the project this intersection will be directly influence because it's located on the western access of the tunnel.

A microsimulation with the SIDRA INTERSECTION 5.1 software of the scenarios with or without project was done for today and for the year 2020 in order to understand and evaluate the behavior of the traffic flow in the intersection mentioned. This simulation implied the construction of a model that takes into account the geometrical, transit and traffic behavior characteristics that were taken in the field. Also a horizontal geometrical design was done to provide the connection of the tunnel with the intersection. Two different configurations are presented in this document, one was taken from the Road unit Administrative Planning Department of planning of Medellín and the other is a proper one.

Once the model was developed for each one of the scenarios, a calibration procedure was done. By the analysis of the results obtained they are going to the pretend some observations, related to the simulation in accordance with the level of service and saturation, the waiting time and the traffic volumes discriminated by approach and lane.

Key words: tunnel, traffic flow, intersection, microsimulation, level of service, SIDRA INTERSECTION 5.1.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento del parque automotor y poblacional, acompañado del uso poco racional que se da al automóvil para viajes muy cortos o con pocos pasajeros, la discontinuidad de algunas vías, el ineficiente servicio público y la falta de nuevos proyectos viales, han ocasionado un impacto negativo en las condiciones de movilidad del municipio de Medellín, por lo cual cada vez los ciudadanos tardan más en desplazarse de un lugar a otro.

Ante los problemas de movilidad se han propuesto nuevos proyectos de infraestructura que contribuyan a mejorar la situación actual. Uno de estos proyectos es la construcción de una vía subterránea por debajo de la pista del Aeropuerto Enrique Olaya Herrera, la cual trata de solucionar el problema de falta de opciones de conectividad entre las zonas centro y suroccidental de la ciudad de Medellín, dándole continuidad a la calle 10 desde la Comuna de Belén hasta la de Guayabal.

El proyecto mencionado fue planteado inicialmente en el Plan Vial Metropolitano del año 1986 y posteriormente se incluyó en el Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Luego de un análisis del contenido de ambos planes, se encontró que falta claridad en los diseños geométricos y se identificó la necesidad de estudiar el impacto que tendría la construcción del deprimido sobre la malla vial existente.

Con este trabajo de grado se pretende analizar mediante una microsimulación de tráfico para los escenarios con y sin proyecto, en la actualidad y en el 2020, la influencia que tendrá la implementación del proyecto sobre la movilidad en la intersección vial de la carrera 70 con la calle 9, la cual funcionará como acceso occidental al deprimido. La construcción de la vía subterránea atraería viajes que en la actualidad se efectúan por otras rutas, generaría nuevos viajes y además podría incrementar considerablemente los flujos vehiculares en algunas maniobras respecto a lo que se presenta hoy en día. Por lo tanto hacer el análisis de dicha intersección permitirá definir previsiones para atender las necesidades de los usuarios de manera eficiente y segura.

Este informe se compone de 5 capítulos. En el capítulo 1, se describe el planteamiento del problema, los objetivos del trabajo de grado y se incluye la definición de algunos términos usados en la ingeniería de tránsito y transporte. Luego en el capítulo 2 se explica la metodología que se elaboró para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 3 se describe la caracterización del modelo la cual incluye una descripción del software y tipo de simulación, asimismo contiene una descripción de los datos de entrada y salida del modelo y se mencionan los escenarios de simulación. También se explica la construcción del modelo a partir de los parámetros geométricos y elementos de tránsito de la intersección vial. Adicional a esto se propone una configuración para la intersección, donde se muestra el diseño geométrico horizontal propuesto en este trabajo para el empalme con el portal occidental, tanto en la configuración de las planchas

SIGAME como en una configuración propuesta de elaboración propia del deprimido con la intersección, se muestran los volúmenes vehiculares resultado de los aforos realizados en campo, la metodología realizada para la calibración del modelo y se muestra el proceso de simulación, donde se incluye la corrida del modelo en el software SIDRA INTERSECTION 5.1

El análisis de resultados se presenta en el capítulo 4, donde se realizan observaciones de la simulación de la intersección de acuerdo a los niveles de servicio y saturación, los tiempos de demora y los volúmenes vehiculares discriminados tanto por acceso como por carril.

Por ultimo en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron luego de realizar una evaluación del comportamiento del flujo vehicular de la intersección mediante una microsimulación del tráfico vehicular de la intersección para los diferentes escenarios.

1 PRELIMINARES

En este capítulo se describe el problema que se pretende resolver con este trabajo de grado, los objetivos generales y específico y se incluye un marco de referencia donde se explican algunos conceptos de la ingeniería de tránsito y transporte y modelación y simulación para conceptualizar al lector.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ubicación del aeropuerto Enrique Olaya Herrera dentro del área urbana del municipio de Medellín, se impone como una barrera artificial, que por su extensión y ubicación, genera problemas de conectividad, situación que se explica debido a que en la situación actual no hay una conexión directa entre las comunas de Belén y Guayabal, por lo cual se generan extra recorridos, mayores tiempos de viaje y congestiones para los habitantes de estas zonas, rutas de transporte público y aquellos que confluyen ocasional o constantemente a este sector.

De acuerdo a lo anterior, la ciudad de Medellín debe buscar mejorar las condiciones de movilidad transversal dentro ella, ideando nuevas y adecuadas conexiones entre las zonas oriental, centro y occidental, teniendo presente la relación y la integración que debe generarse con el actual esquema de movilidad. De ahí que la solución a los problemas de infraestructura vial requiera un especial interés y fortalecimiento mediante el planteamiento de nuevos proyectos que beneficien el desplazamiento de forma cómoda, rápida y segura.

La peculiar configuración urbana de la ciudad de Medellín, longitudinal y dividida por el eje inamovible del río Medellín, ha supeditado el trazado de las vías interiores, así como también todas las medidas de movilidad y ocupación del territorio, las cuales han regulado de manera directa la configuración actual de la ciudad. Los puentes sobre el río Medellín han sido una alternativa de movilidad para atravesar esta barrera natural y comunicar el oriente con el occidente de la ciudad, sin embargo estos no han sido suficientes, por lo cual se requiere una configuración vial que integre nuevos proyectos que permitan la conexión oportuna entre los diferentes sectores.

Se ha identificado que los orígenes y destinos de los viajes comprendidos entre el sector centro y suroccidental de la ciudad de Medellín, deberían seguir una trayectoria natural a lo largo del territorio, sin embargo al momento de analizar las condiciones existentes de movilidad, se identificó la falta de continuidad de las vías que cruzan el eje del río Medellín. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011).

Dado que esta situación no ha sido ajena al conocimiento de la comunidad en general y de las entidades competentes, actualmente existe un planteamiento a una solución atípica en cuanto al remedio tradicional a los problemas de infraestructura vial.

El proyecto “Conexión de la calle 10 con las paralelas a la quebrada La Guayabala”, planteado en un principio en el Plan Vial Metropolitano del año 1986 y retomado en la actualidad mediante el Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle Aburrá, corresponde a una solución a nivel macro que pretende la conexión de esta vía mediante la construcción de una vía subterránea bajo la pista del aeropuerto Enrique Olaya Herrera, pero no contempla un análisis a nivel micro de las zonas directamente influenciadas, es decir, no evalúa el estado actual y futuro de algunos puntos críticos como es la intersección de la carrera 70 con la calle 9, la cual corresponde a un punto que estaría directamente influenciado en caso de llegar a ejecutarse este proyecto. Además de cumplir su papel como reguladora del flujo vehicular, esta intersección también funcionaría como paso directo al portal de acceso occidental del túnel propuesto, por lo cual su comportamiento se vería afectado por la atracción de viajes que generaría este proyecto en caso de ser ejecutado.

Actualmente, no existe un estudio de las consecuencias que traería la modificación que se tendría en la distribución y cantidad de viajes en la intersección de la carrera 70 con calle 9 en el caso de que se llegara a construir el deprimido, situación que podría generar niveles indeseables de congestión o quedando desatendidas ciertas maniobras demandadas por los usuarios, caso en el cual se hace necesario proponer un nuevo esquema para la intersección teniendo en cuenta tráfico y maniobras futuras. De acuerdo a lo anterior en este trabajo de grado se ha decidido realizar la evaluación del comportamiento del flujo vehicular de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 a través de una microsimulación de tránsito.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el flujo vehicular en la intersección de la carrera 70 con la calle 9 (laterales quebrada la Guayabala), que se originaría por la construcción de una vía subterránea en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera en la ciudad de Medellín.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el modelo de tráfico de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 (laterales quebrada La Guayabala).
- Construir y ejecutar el modelo para la simulación de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 (laterales quebrada La Guayabala).
- Analizar el comportamiento del flujo vehicular de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 (laterales quebrada La Guayabala), de acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

Se incluye la definición de algunos términos propios de la ingeniería de tránsito y transporte. A partir de la explicación de las generalidades de la ingeniería de tránsito, se profundiza en los términos de volumen de tránsito, velocidad, estudios de tránsito, aforos vehiculares, estudio origen y destino, simulación de tráfico vehicular e intersecciones viales.

1.3.1 Generalidades

La ingeniería de tránsito es la rama de la ingeniería civil que se encarga de estudiar la particularidad y la relación existente entre los cinco elementos básicos que a ella la componen:

- El conductor
- El peatón
- El vehículo
- La vía
- El medio ambiente

Su instrumento básico es el estudio de tránsito, el cual se utiliza cuando surge la necesidad de analizar y resolver los problemas de circulación de los vehículos, ya sean motorizados, no motorizados o los peatones. Pero esta variable, para poder ser comprendida completamente, necesita conocer el número de vehículos que circulan, la variación con la cual circulan y la composición vehicular durante un periodo definido en una sección transversal de vía y de igual manera en el caso de los peatones.

Los aforos o conteos vehiculares, paso básico y fundamental en los estudios de tránsito, permiten caracterizar el tránsito según su composición vehicular (clasificación), la cantidad de vehículos que transitan (volumen), la trayectoria de los vehículos (flujo), entre otros, para obtener una serie de variables que permiten entender el comportamiento del tránsito y así asignar soluciones a los problemas que puedan presentarse en cuanto a la circulación, la accesibilidad, la movilidad o el servicio.

1.3.2 Volumen de tránsito

El volumen de tránsito es el número de vehículos que circulan por un punto determinado durante un intervalo de tiempo dado. Cuando se realiza la estimación del volumen vehicular que circula por un punto o sector en específico, se debe tener claridad con respecto al volumen esperado o demanda esperada de vehículos que desearán viajar por ese punto o sector en un tiempo determinado. Es así como existe una relación directa entre el volumen, quienes están siendo servidos, y la demanda, quienes esperan a ser servidos. Esta variable puede ser medida en escala semanal, TS (tránsito semanal),

escala diaria, TD (tránsito diario), escala horaria, TH (tránsito horario), y promedio diario, TPD (tránsito promedio diario) el cual corresponde al indicador de mayor importancia.

Dependiendo de lo que se desea conocer, el volumen de tránsito puede ser utilizado para la definición de diferentes variables como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 1. Volumen de tránsito y sus aplicaciones.

Tipo de volumen	Aplicación
Volumen medio diario, TPD a escala semanal, mensual o anual.	Planeación y programación en vías, selección de rutas, análisis de accidentalidad, evaluaciones económicas, estimación de demanda y oferta, determinación de capacidad, determinación del nivel de servicio.
Volúmenes clasificados, por tipo de vehículos.	Determinación de capacidad, diseños geométricos y estructurales, clasificación de vehículos.
Volúmenes en periodos de tiempo específicos, horas pico o valle.	Medidas y control de tránsito, normatividad, diseños geométricos y estructurales, determinación del nivel de servicio, determinación de capacidad.

El tránsito promedio diario es el “volumen total durante un periodo de tiempo dado (en días completos), mayor que un día y menor que un año, dividido entre el número de días de ese periodo” (Valencia Alaix, 2007) y compete a la medida básica para la planeación, diseño y posterior control de la infraestructura vial y medidas complementarias. Puede presentar variaciones diarias, en las horas pico y valle, variaciones dentro de la hora pico, para la determinación de la capacidad vial como el factor de hora pico (FHP), y otras variaciones como semanal, anual, por sentido, por carril o extraordinarias.

1.3.3 Velocidad

La velocidad se define como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo que tomó recorrerla. Como la velocidad de un vehículo se encuentra supeditada a las características de la vía, volumen de tránsito y las condiciones atmosféricas, quiere decir que la velocidad con la que se mueve varía constantemente, por lo cual se debe trabajar con valores medios de velocidad. También se puede definir la velocidad de marcha, relación entre la distancia recorrida y el tiempo en que el vehículo estuvo en movimiento, y la velocidad de diseño, velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular de manera segura.

Dependiendo de lo que se desea conocer, el volumen de tránsito puede ser utilizado para la definición de diferentes variables como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 2. Velocidad y sus aplicaciones.

Aspecto	Aplicación
Servicio de una vía	Percepción de los usuarios, grado de satisfacción de los usuarios, trazado en planta y perfil, visibilidad, señalización.
Velocidad de diseño	Diseño de curvas (horizontales y verticales), peraltes, ancho de vía, distancia de visibilidad y parada.
Normativa y regulación	Velocidad máxima, zonas de adelantamiento, dimensiones de señales, tiempos de semáforos.

1.3.4 Estudios de tránsito

Como se mencionó, los estudios de tránsito son la herramienta fundamental para el análisis y solución de los problemas de circulación de los vehículos, ya sean motorizados o no motorizados, pero para lograr la identificación de los parámetros y un análisis exhaustivo de la forma y tipo de flujo característico de la zona en estudio, es necesario cuantificar variables básicas como la cantidad de vehículos, tiempo de recorrido, tiempo de demoras, velocidad promedio, composición vehicular, entre otras, a través de técnicas manuales o electrónicas, ya sea por conteos en sitio o conteo por dispositivos electrónicos, con el fin de encontrar soluciones adecuadas y conclusiones que lleven al mejoramiento de la infraestructura vial o de la normatividad.

1.3.5 Conteos o aforos vehiculares

El conteo o aforo vehicular es una forma de caracterizar el tránsito, su composición vehicular y el tipo de maniobra que realizan los vehículos. Este procedimiento se debe realizar en días típicos (laborales, no laborales, festivos, fines de semana, etc.) en los cuales se puedan obtener resultados representativos para la caracterización del tránsito local de una zona en días determinados. Dependiendo del objetivo o la variable que se desee conocer, los aforos vehiculares pueden enfocarse en cualquiera de los siguientes objetivos:

- Determinar los tipos de vehículos que circulan por una zona determinada.
- Conocer las clases de maniobras y volumen vehicular que recurre a estas.

- Identificar la variabilidad durante un periodo característico y en los subperiodos valle y pico.
- Determinar la capacidad y nivel de servicio al cual está sometido una vía o un segmento de esta.

1.3.6 Estudio origen y destino

En la caracterización del tránsito no solo es importante la cuantificación de la cantidad de vehículos que circulan por una vía o el tipo de maniobras que estos realizan, también se debe conocer la distribución que existe entre los diferentes pares origen - destino que lo compone. Esto con el fin de evaluar la posibilidad de diferentes soluciones a problemas particulares y localizados en zonas de alta accidentalidad, baja accesibilidad, poca movilidad o problemas de capacidad, además de planificar acertadamente el transporte.

Su principal resultado se resume en la obtención de la matriz origen - destino de los viajes según variables como propósito, hora del día, tipo de servicio de transporte y tipo de vehículo.

La encuesta origen destino del Valle de Aburrá es un claro ejemplo del análisis de distribución de viajes del cual se habla, ya que comprende hasta los mínimos detalles de tamaño e influencia en cuanto a desplazamiento se refiere. Obtener los patrones de movilidad de la región metropolitana del Valle de Aburrá, la cual está compuesta por los municipios de Medellín, Bello, Envigado, Itagüí, Sabaneta, Copacabana, Girardota, Barbosa, La Estrella y Caldas, permite estimar los viajes, los modos y los periodos del día en los que los habitantes del territorio realizan su desplazamiento. Durante el año 2011, el Área Metropolitana de la ciudad de Medellín realizó la “Encuesta Origen Destino del Valle de Aburrá”, con el fin de obtener la información necesaria de movilidad urbana y así construir modelos decisivos en la planificación del transporte urbano.

1.3.7 Simulación de tráfico vehicular

“Los diferentes modelos para el tránsito vehicular están basados en teorías con enfoques microscópicos y macroscópicos. Todos estos modelos están basados en métodos y modelos matemáticos, los cuales representan el comportamiento del flujo. Por esta razón, despiertan gran interés aquellos modelos basados en las teorías dinámicas de fluidos y seguimiento de vehículos. El problema que se presenta con este tipo de modelos es el manejo de las variables continuas de espacio y tiempo, por lo que al llevar a simular se debe de alguna manera convertir en variables discretas. La lógica varía de modelo a modelo y los diferentes escenarios para representar la operación del tránsito” (Suárez, 2007).

1.3.7.1 Macrosimulación

La macromodelación es una representación continua y general de los aspectos típicos (velocidad, volumen, densidad, etc.) del comportamiento del flujo vehicular, por lo cual

realiza un análisis de conducta en forma colectiva y dinámica, por ejemplo en una ciudad completa o la red vial de una región o país.

En los modelos de macrosimulación no hay detalle en cuanto al seguimiento de la conducta del vehículo, es decir, no tiene relevancia el comportamiento particular de cada uno de los individuos (vehículos) en cuanto a los cambios que puedan realizarse en periodos de tiempo cortos.

Para este tipo de modelos existen diferentes software, cada uno de ellos especializados o diseñados para determinar variables con mayor precisión que otros. Algunos de ellos son EMME-3 y Transcad.

1.3.7.2 Mesosimulación

La mesosimulación realiza el análisis de grupos de vehículos en una escala de mediana magnitud en cuanto a espacio y cantidad de vehículos. En ésta se puede seguir la conducta del grupo de vehículos y también la determinación de tiempos de entrada y salida por paquete de individuos (vehículos).

1.3.7.3 Microsimulación

La microsimulación permite evaluar el comportamiento del flujo vehicular en un área determinada de la red vial. A partir de esta se obtienen indicadores representativos del funcionamiento del tránsito que circula. Por lo anterior es de gran utilidad para analizar la conveniencia o no de realizar alguna intervención en un proyecto de una obra vial, una intersección o sobre algún punto de la red vial.

Para la aplicación de este modelo se requiere conocer las características de la vía y del flujo vehicular a simular. Este tipo de simulación se basa en modelos de tiempo discreto y modelos de eventos. En la simulación de tiempo discreto el tiempo total de la simulación se divide en intervalos de tiempo y a medida que van transcurriendo los conductores de los vehículos, deciden qué acción realizar en función de la situación en la que se encuentren. La simulación por eventos determina el efecto de los elementos del tránsito en los conductores (Llopís, 2012).

Los componentes del modelo son de tipo estático y dinámico. Los componentes estáticos son los que determinan los escenarios de simulación y no varían durante esta (carriles, giros y señales de tráfico). Los dinámicos, por el contrario, varían en la simulación y se ven afectados por la aceleración de los vehículos, los cambios de carril, la generación de viajes, la selección de rutas y definición del lugar de estacionamiento (Llopís, 2012).

SIDRA (Signalised & unsignalised Intersection Design and Research Aid) **INTERSECTION 5.1**, es una herramienta avanzada para el análisis a nivel micro que permite evaluar las alternativas de diseño de intersecciones viales en términos de capacidad, nivel de servicio y medidas de desempeño incluyendo demoras, longitud de colas de espera, tiempo de parada para vehículos y peatones, consumo de combustible,

emisiones contaminantes y costos de operación. Éste será el software utilizado durante el proceso de simulación del trabajo en desarrollo.

1.3.8 Intersecciones viales

1.3.8.1 Definición

Una intersección es el área en la que dos o más calles se unen o cruzan, ya sea a nivel o desnivel. Tienen como función principal posibilitar el cambio de dirección en la trayectoria de manera controlada, ordenada, cómoda y segura. Éstas incluyen espacios necesarios para todos los modos de viaje: a pie, bicicleta y vehículos motorizados; además de algunos parámetros básicos para su correcto diseño y posterior funcionamiento.

1.3.8.2 Tipos de intersección

A continuación se presentaran únicamente los tipos de intersección correspondientes a los casos (escenarios, ver 0) a evaluar:

- Intersección en “Y” o “T” (escenario base y 2)

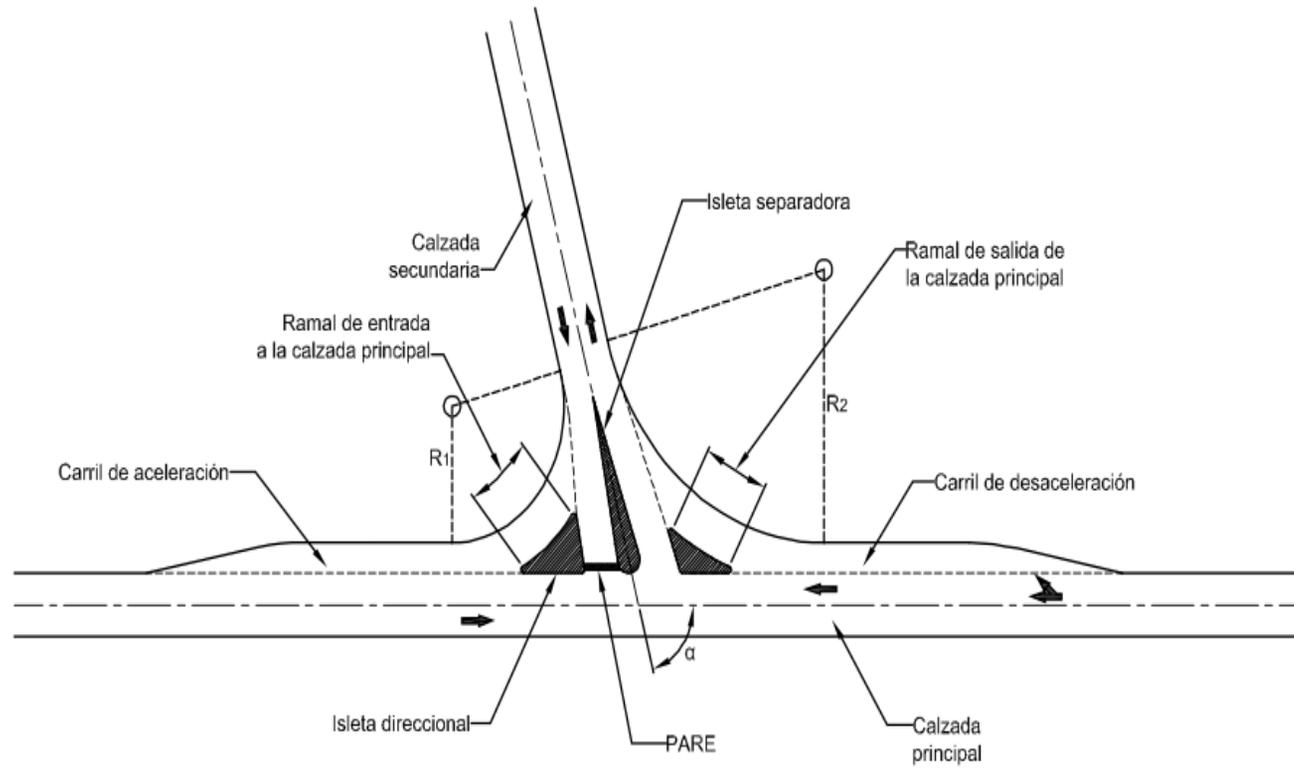


Figura 1. Esquema base para la intersección en “Y” o “T” (Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2008) del Instituto Nacional de Vías, Colombia)

- Intersección en cruz “+” o equis “X” (escenario 3 y 4)

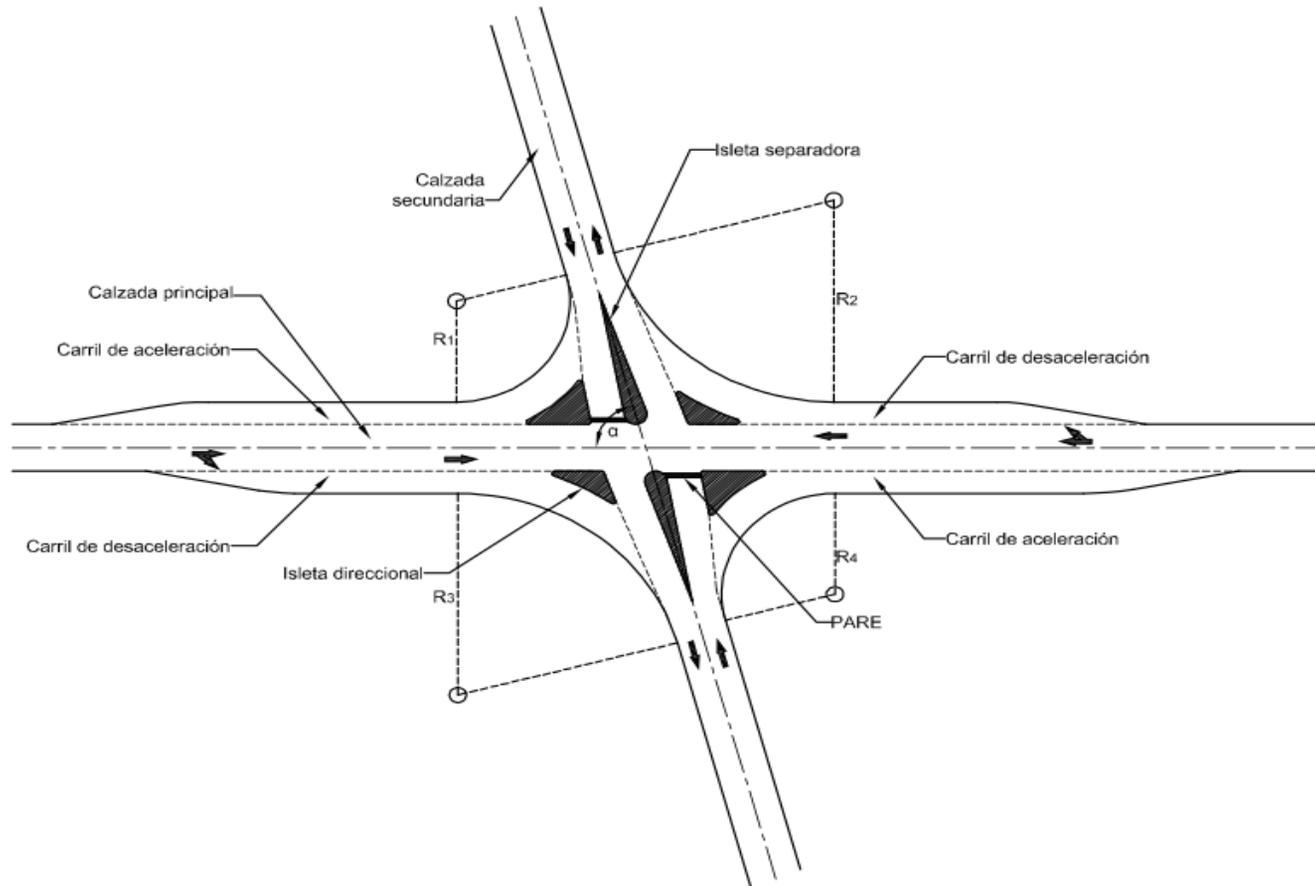


Figura 2. Esquema base para la intersección en cruz “+” o equis “X” (Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2008) del Instituto Nacional de Vías, Colombia).

1.3.8.3 Diseño de intersecciones a nivel

En el diseño de una intersección se tienen en cuenta factores como la topografía del sitio, las características geométricas de las vías que confluyen y el flujo vehicular. A continuación se muestra el procedimiento recomendado en el Manual de diseño geométrico de carreteras del Instituto Nacional de Vías para el diseño de una intersección:

1. Análisis de la situación existente
2. Formulación de alternativas de funcionamiento
3. Selección de la alternativa más conveniente
4. Diseño definitivo de la solución adoptada

Para realizar un diseño conveniente y que resuelva los conflictos que se podrían presentar en la intersección, es necesario considerar unos criterios generales, estos se muestran a continuación:

- Prioridad a los movimientos más importantes sobre los secundarios.
- Consistencia del tamaño de la intersección propuesta con la magnitud de los volúmenes de tránsito que circularan por cada acceso de la intersección.
- Sencillez y claridad en el diseño con el fin de que los movimientos y recorridos resulten cómodos y seguros para los usuarios.
- Separación de los movimientos y sentidos de circulación de acuerdo a los flujos vehiculares.
- La velocidad de los vehículos que ingresan a la intersección debe ser acorde a la visibilidad.
- Disponibilidad de superficie para realizar el diseño y construcción de la intersección.

El dimensionamiento preliminar de la intersección contempla las siguientes actividades:

- Estudio de volúmenes de tránsito para estimar los volúmenes de tránsito futuros.
- Seleccionar el tipo de intersección más conveniente de acuerdo a la tipología de las vías que confluyen en la intersección, los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno.
- Determinar las dimensiones preliminares de los elementos de la intersección teniendo en cuenta los criterios de capacidad de carril, las longitudes mínimas y el número de carriles en la zona de entrecruzamiento, carriles de cambio de velocidad y el espaciamiento entre los accesos de la intersección.

1.3.8.4 Semaforización

La función principal de un semáforo en el control de una intersección es dar el paso alternativamente a los distintos grupos de vehículos, peatones, bicicletas y/u otro sistema de transporte de tal manera que éstos pasen a través de la intersección con un mínimo de problemas, riesgos y demoras.

La simbología de un semáforo se comprende por luces de colores, verdes, rojas y amarillas, donde:

- Roja: indica el deber de detenerse, sin pasar o invadir la raya inicial de la zona de cruce de peatones.
- Amarilla: indica atención para un cambio de señal y para que el cruce sea desalojado por los vehículos que se encuentran en él o se abstenga de ingresar en el cruce aun disponiendo de espacio para hacerlo. No debe iniciarse la marcha en luz amarilla, ni incrementarse la velocidad durante ese lapso.

No se debe ingresar en amarillo a la intersección y si un vehículo ya está en la intersección en luz amarilla mantendrá la prelación hasta culminar el cruce.

- Verde: significa vía libre.

A continuación se hace una breve descripción de los parámetros básicos:

- Intervalo: período de tiempo en el ciclo de un semáforo durante el cual las indicaciones no cambian en absoluto.
- Ciclo: Cualquier sucesión completa de las indicaciones Ciclo: cualquier sucesión completa de las indicaciones de un semáforo.
- Duración del ciclo (c): tiempo total en que un semáforo completa el ciclo.
- Fase: parte del ciclo correspondiente a cualquier movimiento de vehículos o combinación de movimientos simultáneos, que reciben derecho de paso durante uno o más intervalos.

1.3.8.5 Flujo de saturación

El flujo de saturación es la cantidad de vehículos por hora que pueden ser acumulados por grupo de carriles asumiendo que la fase verde esta el 100 % del tiempo del ciclo semafórico.

$$S = S_0 N f_w f_g f_{HV} f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde, s : flujo de saturación

s_0 : flujo de saturación base

N : número de carriles

f_w : factor de ajuste por ancho de carril

f_{HV} : factor de ajuste por vehículos pesados

f_g : factor de ajuste por pendiente del acceso

f_p : factor de ajuste por carril de parqueo

f_{bb} : factor de ajuste por bloqueo local por paradas de buses

f_a : factor de ajuste por tipo de área

f_{LU} : factor de ajuste por utilización de carril

f_{LT} : factor de ajuste por giros a izquierda

f_{RT} : factor de ajuste por giros a derecha

f_{Lpb} : factor de ajuste por giros a izquierda peatonales

f_{Rpb} : factor de ajuste por giros a derecha peatonales

Los anteriores factores se calculan de acuerdo a cada una de las características, geométricas y de tránsito, que la intersección contiene en su estado actual. Para el caso en desarrollo sólo aplican los factores de ajuste por ancho de carril, pendiente del acceso, tipo de área, utilización de carril, giros a izquierda y derecha. Para conocer la forma de cómo se calcula cada uno de ellos se puede consultar el Highway Capacity Manual 2000.

1.3.8.6 Capacidad (c)

La capacidad se define como la cantidad de vehículos del flujo de saturación que pueden circular durante la proporción de la fase verde con respecto al ciclo total de semaforización. En el análisis de intersecciones este término está medido para el análisis por carriles pero es posible determinar esta variable por acceso promediando el valor de la capacidad del número de carriles en el acceso.

$$c = S \frac{g}{c} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde, c : capacidad (vehículos/hora)

S : flujo de saturación (vehículos/hora)

g : tiempo de fase en verde (segundos)

C : longitud del ciclo semafórico (segundos)

La relación g/c también se conoce como la relación efectiva de verde.

1.3.8.7 Nivel de servicio (LOS)

El nivel de servicio evalúa el funcionamiento de una intersección con base en el tiempo que demora un vehículo en sobrepasar dicho cruce. Esta variable también puede ser obtenida por carril, acceso o la intersección en general. La Tabla 3 contiene la clasificación de los niveles de servicio de acuerdo a los tiempos de demora.

Tabla 3. Criterio del nivel de servicio (LOS)

Nivel de servicio (LOS)	Tiempo de demora por vehículo (segundos)
A	≤ 10
B	> 10 – 20
C	> 20 – 35
D	> 35 - 55
E	> 55 – 80
F	> 80

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una combinación de las metodologías de las disciplinas de tránsito, diseño geométrico de carreteras, modelación y simulación. La metodología seguida está conformada por seis etapas: preliminares, recolección de la información, procesamiento y análisis de la información, simulación, análisis de resultados y conclusiones y recomendaciones. A continuación se explica cada una de estas.

2.1 PRELIMINARES

Inicialmente el alcance del trabajo de grado establecía la evaluación del tránsito que se originaría por la construcción del deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera y los efectos en la accesibilidad y movilidad entre las zonas suroriental y suroccidental del municipio de Medellín, para lo cual se definió que se realizaría una macrosimulación de tránsito en el software Transcad.

Una vez se empezó con la investigación se identificó que la evaluación de los efectos que tendría la construcción del deprimido en la zona suroriental y suroccidental implicaba un análisis detallado de las condiciones de tránsito y transporte de las comunas 14,15 y 16, Poblado, Guayabal y Belén, respectivamente, además de evaluar las condiciones de otros aspectos como el estado de la red vial y la caracterización socioeconómica.

Debido al tamaño de las zonas mencionadas, el grado de complejidad y detalle, la falta de información disponible, la dificultad del manejo y disponibilidad del software de simulación Transcad y la falta de información, se identificó que el alcance propuesto en principio no sería logrado en el tiempo máximo otorgado para realizar el trabajo de grado.

De acuerdo a lo anterior se decidió acotar el alcance del proyecto, para lo cual fue necesario un nuevo planteamiento del problema, modificar los objetivos tanto generales como específicos y definir las nuevas actividades a realizar para el desarrollo del proyecto. El nuevo alcance abarcaría el análisis del flujo vehicular de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 antes y después de la construcción del deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera.

Luego de definir el nuevo alcance se procedió a elaborar un diagnóstico inicial de las condiciones de la zona a estudiar. Se hizo una visita preliminar para conocer las condiciones de tránsito, tráfico y socioeconómicas que actualmente se presentan, se ubicaron en campo las posibles modificaciones que tendría la intersección en caso que se llegara a desarrollar el proyecto del deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera, se evaluaron tentativamente los posibles efectos que tendría el proyecto dentro de la red vial de la zona y a nivel general de la zonas centro y suroccidental de Medellín. También se realizaron recorridos en automóvil y a pie con el fin de reconocer algunas variables iniciales y tener diferentes posiciones de percepción.

Por otra parte, se plantearon las situaciones que se deberían analizar y se caracterizaron cada una de ellas en cuanto a que deberían contener en sus diseños geométricos y de tránsito para lograr una correcta representación de las situaciones o escenarios que se pudieran presentar a futuro.

2.1.1 Planteamiento de problema

El problema se diagnosticó luego de una revisión bibliográfica y consulta con profesionales relacionados y conocedores del proyecto de la vía subterránea en las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera. Con base en el Plan Maestro de Movilidad para la Región del Valle de Aburrá se logró identificar que no existe un análisis detallado y a nivel micro de que sucederá con algunos puntos de conflicto como lo pueden ser las intersecciones, calles locales y las dinámicas internas de movilidad de algunas microzonas, debido a que este estudio está enfocado en los efectos a nivel macro de la ciudad de Medellín, es decir, el alcance técnico está centrado en el comportamiento de la red vial y de transporte de las principales avenidas y su relación con la dinámica territorial del Valle de Aburrá. Por consiguiente, se planteó realizar la evaluación del flujo vehicular a escala micro de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 en su condición actual y como se vería afectado su comportamiento con la entrada en operación del proyecto del deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera.

2.1.2 Planteamiento de la situación deseada

Posteriormente a diagnosticar el problema se plantearon los escenarios que se deberían evaluar para comprender el comportamiento de la intersección ante diferentes situaciones y cómo variarían los parámetros de comportamiento del flujo vehicular. Así mismo, se determinaron los periodos en los cuales serían evaluados los escenarios, es decir, el año para el cual cada escenario correspondería.

Estos escenarios se determinaron para cuatro situaciones diferentes: el primer escenario sería aquel que representaría la situación actual de la intersección, es decir el año 2012; el segundo escenario sería el primer escenario proyectado en el cual se supone la entrada en operación de la vía subterránea pero sin considerar su efecto, año 2020; el tercer escenario correspondería al contexto en el cual la intersección estuviera interactuando con la operación de la vía subterránea en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera, año 2020. El escenario 4 también tendría un escenario alternativo que estaría modificado bajo nuestras consideraciones de diseño.

2.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recolección de la información necesaria para el proyecto se clasificó en dos grupos de acuerdo al tipo, ubicación y forma en que se obtendría. La información primaria se obtuvo de manera directa, es decir, por medio de trabajos en campo o recolección de información existente que posteriormente fue seleccionada, procesada y analizada. La información secundaria correspondió a fuentes derivadas de datos o informaciones reelaboradas o sintetizadas en documentos existentes. Estas fuentes principalmente fueron documentos

técnicos realizados por entidades públicas como el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y el Departamento Administrativo de Planeación de la ciudad de Medellín.

2.2.1 Información primaria

Luego de analizar acerca de lo que se desea realizar y obtener, se preparó un procedimiento para la obtención de la información primaria en campo, la cual corresponde a todos los datos de carácter geométrico, señalización, elementos reguladores del tráfico y caracterización del flujo vehicular de la zona en estudio, relevante para las etapas posteriores.

- **Caracterización geométrica**

A través de mediciones con una lienza de 25 m de longitud, se determinaron las medidas de los elementos relevantes dentro de la intersección como anchos de carril, longitud de canalizadores y separadores, ancho de senderos peatonales, distancia a paraderos de buses y accesos.

- **Caracterización del tráfico**

Se realizaron aforos vehiculares por medio de conteos cada 15 minutos por un periodo de 2 horas (3:30 p.m. – 5:30 p.m.), durante los días martes, miércoles y jueves, 2, 3 y 4 de octubre, respectivamente, por lo cual fue posible obtener los volúmenes vehiculares por acceso y maniobra hacia el la intersección.

- **Caracterización de la señalización**

Se realizó el inventario de todas las señales, horizontales y verticales, presentes en cada acceso de la intersección. También se midió el periodo de fases semafóricas, además del ciclo de funcionamiento dentro de la intersección.

2.2.2 Información secundaria

La recolección de la información secundaria se basó en la consulta de documentos e informes técnicos de carácter público, es decir, realizados por entidades del estado. Estas entidades se convirtieron en la principal fuente de información y conocimiento detallado de algunos aspectos técnicos, históricos, políticos y económicos relacionados con la propuesta que se planteó en un principio como trabajo de grado, por lo cual también fue posible contextualizar y acotar de manera precisa el objetivo buscado. Estas entidades públicas fueron el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Alcaldía de Medellín y el Instituto Nacional de Vías, además de contar con el apoyo de diferentes profesionales conocedores del tema.

- **Plan Maestro de Movilidad para la región del Valle de Aburrá**

Por medio de este informe técnico, el cual sintetiza el futuro de la movilidad y la infraestructura vial del Valle de Aburrá, se obtuvieron los volúmenes totales que tendría el tramo de vía subterránea del proyecto “Construcción de vía subterránea (túnel aeropuerto

EOH) para la conexión de la calle 10 con las laterales de la quebrada la Guayabala”, los cuales fueron necesarios para la modelación y posterior análisis del comportamiento de la intersección de la carrera 70 con calle 9, debido a que dentro del planteamiento geométrico del proyecto mencionado ésta funcionaría como paso directo al portal de acceso occidental del túnel. Dichos volúmenes se encuentran proyectados para el año 2020, año para el cual se tiene estipulada la entrada en operación de este proyecto.

- **Encuesta origen y destino de hogares del Valle de Aburrá 2012**

Debido a que los volúmenes totales que tendría el tramo de vía subterránea del proyecto “Construcción de vía subterránea (túnel aeropuerto EOH) para la conexión de la calle 10 con las laterales de la quebrada la Guayabala” corresponden a un total dentro segmento de vía, es decir, es la suma de los volúmenes tanto en sentido de oriente a occidente como en el sentido contrario, fue necesario proponer una metodología para la estimación de la distribución de los volúmenes por sentido a partir del procesamiento de la información contenida en las matrices de viajes de la Encuesta origen y destino del Valle de Aburrá.

2.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de la recolección de la información necesaria para el desarrollo del proyecto, se realizó el procesamiento, análisis y selección detallada de los datos a utilizar. Esta etapa se focalizó principalmente en la información obtenida durante los aforos vehiculares, ya que los volúmenes vehiculares, principal insumo para este proyecto, se obtuvieron por medio de los conteos realizados durante la recolección de la información primaria.

2.3.1 Información primaria

Para el procesamiento de este tipo de información fue necesaria la preparación previa de formatos de trabajo de campo, realizados con base a estudios previos y visitas de campo al lugar de estudio, además de la definición de los datos necesarios para el desarrollo del proyecto.

- **Aforos vehiculares**

Durante los días de aforo, e inmediatamente terminado cada uno de ellos, se procedió a la digitación de los valores recolectados en campo y a su debido procesamiento y selección detallada. Esto con el fin de evitar confusiones y acumulación de trabajo al final de las mediciones en campo. Se tenía preparada previamente una plantilla de trabajo para el procesamiento de la información en la cual sólo era necesario ingresar los valores totales, de acuerdo a la clasificación deseada, e inmediatamente se generaban los parámetros, gráficos y tablas necesarias para el análisis posterior. Este procesamiento se realizó en hojas de cálculo del software Excel 2012.

2.3.2 Información secundaria

El procesamiento de esta información se centra en la estimación de la distribución de viajes dentro del área definida por las comunas 14, 15 y 16, Poblado, Guayabal y Belén, respectivamente.

- **Encuesta origen y destino de hogares del Valle de Aburrá 2012**

A partir de esta matriz, la cual sintetiza los pares origen y destino del Valle de Aburrá desde escala municipal hasta escala barrial, se estimó una distribución porcentual de viajes dentro del área definida por las comunas 14, 15 y 16, Poblado, Belén y Guayabal, respectivamente. Así, fue posible encontrar un volumen estimado de viajes desde el oriente al occidente del túnel y asumir éstos como los correspondientes al nuevo acceso que tendría la intersección de la carrera 70 con la calle 9 en caso de ser construida la vía subterránea.

2.4 SIMULACIÓN

A partir de la información disponible, recolectada durante el trabajo de campo, y la definición del problema a analizar se planteó el modelo y el software a utilizar.

2.4.1 Definición de modelo

Para la definición del modelo se recurrió a la estructuración básica de los modelos de simulación en el cual se definieron los siguientes elementos:

- **Sistema:** toda la estructura que conforma y regula la dinámica de movilidad de la ciudad de Medellín.
- **Subsistema:** Intersección de la carrera 70 con la calle 9.
- **Componentes:** condiciones geométricas, de tráfico y señalización.

A partir de estos elementos y dado el tamaño y las condiciones de análisis determinadas en la etapa de preliminares, se definió el tipo de simulación como una microsimulación del tráfico vehicular dentro de la intersección. Además, se realizaron consultas con un ingeniero experto en el tema de modelación en tránsito y transporte con el fin de verificar que efectivamente el tipo de modelación a realizar era micro.

2.4.2 Escenarios de simulación

Como se mencionó, estos escenarios se definieron de acuerdo a las situaciones que se deberían analizar para determinar el efecto antes y después de la entrada en operación del deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera. Las características de cada escenario fueron determinadas de acuerdo a las necesidades observadas en campo, tanto geométricas como de tránsito, y los requerimientos técnicos necesarios para el buen funcionamiento de la intersección.

2.4.3 Selección del software

La selección del software se realizó con base en la disponibilidad, compatibilidad y la metodología de trabajo propia en el análisis y diseño de intersecciones.

SIDRA INTERSECTION 5.1, fue el software seleccionado debido, principalmente, a que su metodología de trabajo está diseñada con base a los requerimientos del Highway Capacity Manual (HCM), el cual también es el documento técnico base para el diseño y análisis de intersecciones aceptado y recomendado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Además, este software fue compatible con los equipos utilizados para su instalación y posterior uso. Su selección también fue determinada por su disponibilidad completamente gratuita por medio de una licencia de 14 días de duración y el soporte técnico que prestó el diseñador por medio de las guías de manejo y uso del software (<http://www.sidrasolutions.com/>).

2.4.4 Construcción y ejecución del modelo

Esta etapa incluyó la capacitación en el manejo del software, la construcción y ejecución del modelo y la calibración de éste. Aunque se habían definido previamente las situaciones o escenarios definitivos para modelar y analizar el comportamiento de la intersección, se realizó nuevamente un chequeo general en cuanto a las necesidades de diseño y corte temporal de cada uno de ellos, con el fin de verificar y contemplar posibles cambios.

Luego se realizaron ciertos cambios en las características geométricas y se ajustaron algunos parámetros de tránsito que no habían sido definidos de manera correcta o simplemente se ajustaron por correcciones en el procesamiento de la información primaria. Después, se procedió con la construcción de los modelos y la calibración de cada uno de ellos (cada escenario corresponde a un modelo). El procedimiento de calibración consistió en el ajuste de cada uno de los datos de entrada solicitados por el software. Se realizó bajo la supervisión de un experto y la consulta de algunos documentos técnicos públicos sobre estudios de tránsito, con el fin de obtener los valores de algunas variables que no pudieron ser medidas durante la recolección de la información primaria, esto como consecuencia de la falta de personal y dispositivos electrónicos de medición, como por ejemplo sensores de velocidad.

2.4.5 Diseño geométrico

Esta etapa se adaptó únicamente para la construcción de los escenarios 3 y 4. Como se ha mencionado anteriormente, se realizó la evaluación técnica de la intersección en el caso que se construyera una vía subterránea bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera, con un portal de acceso en el costado oriental de la intersección de la carrera 70 con la calle 9.

Se realizó un análisis y posterior diseño geométrico de la futura configuración de la intersección para buscar una solución óptima a las condiciones de tráfico que se presentarían como causa de la atracción de viajes producida por el nuevo tramo de vía.

Para esta actividad fueron necesarias algunas visitas de campo y observaciones del comportamiento del flujo vehicular.

Durante el proceso de análisis se evaluaron dos posibilidades de configuración geométrica para el acceso oriental del tramo de vía subterránea, además de las consideraciones de tránsito y señalización.

La primera configuración geométrica fue tomada del diseño existente del tramo completo del deprimido, el cual fue desarrollado por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación de la ciudad de Medellín en el año 1993. Este diseño, bajo nuestro criterio, se consideró sobredimensionado en cuanto al número de carriles que tendría cada maniobra en la sección típica del nuevo acceso. De igual manera, se tomó este diseño existente y se evaluó para determinar su comportamiento y verificar si la suposición realizada era correcta.

La segunda configuración geométrica correspondió a la primera configuración con modificaciones en el número de carriles. Para cada acceso se redujo en un carril el dimensionado de la sección típica de la vía y como consecuencia se tuvo que recalcular los radios de las curvas del nuevo acceso.

Además, en las dos configuraciones se estimó la pendiente de la rampa de entrada de la intersección al deprimido. Para esta estimación se consultaron diferentes normas internacionales para el diseño y construcción de túneles viales, debido a que en Colombia no existe una norma que regule este tipo de obras. Algunas de las normas consultadas fueron el Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements, del Federal Highway Administration del Departamento de Transporte de Estados Unidos, y el Dossier Pilote des Tunnels, del Ministerio de equipamiento, logística y transporte de La Mer (Francia).

2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados se enfocó en los resultados de la simulación, es decir, sólo se analizaron los datos de salida y no los de entrada (información primaria). Los resultados analizados fueron los volúmenes vehiculares, el grado de saturación, los tiempos de demora, la longitud de las colas y los niveles de servicio. También se realizaron comparaciones entre los resultados de los diferentes escenarios con el fin de evidenciar el impacto en la operación de la intersección y como fluctuaban cada una de las variables, mencionadas anteriormente, en cada uno de los escenarios.

2.6 FORMULACIÓN DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos con la simulación para cada uno de los escenarios, se realizaron las conclusiones y recomendaciones sobre el comportamiento del flujo vehicular en la intersección de la carrera 70 y la calle 9.

En esta última etapa se realizaron comentarios sobre algunos aspectos del proyecto como los procedimientos para la obtención de la información primaria, aspectos técnicos de la modelación y conclusiones y recomendaciones generales acerca del comportamiento y cambios propuestos en la infraestructura como solución a los posibles problemas que se pudieran presentar.

2.7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología descrita en los numerales anteriores se resume a continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

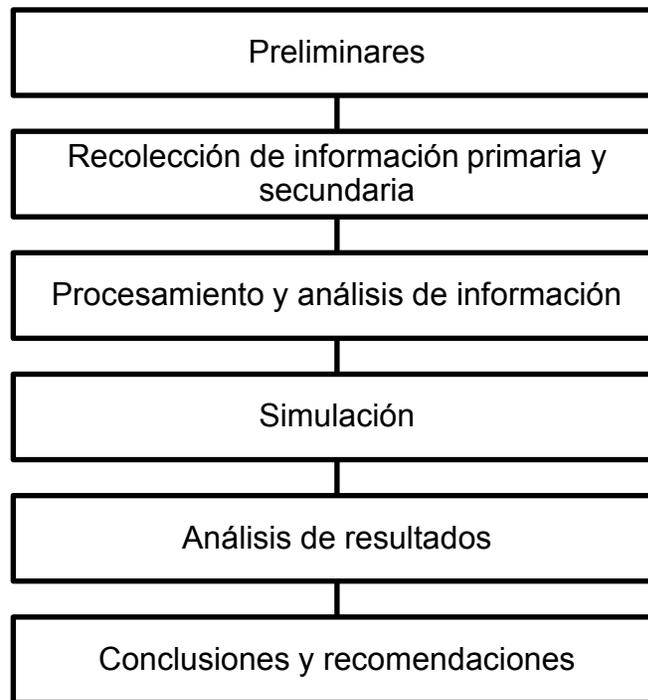


Figura 3. Esquema resumen de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

3 DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO

3.1.1 Configuración actual de la intersección de la Carrera 70 con la Calle 9

La intersección seleccionada para el estudio es la conformada por el cruce de la Carrera 70 con la Calle 9 (vías laterales quebrada La Guayabala). Ésta se encuentra ubicada al suroccidente del Municipio de Medellín en el barrio Diego Echavarría de la comuna 16 (Belén).

A continuación, en la Figura 4, se muestra la localización general de la intersección seleccionada y del proyecto, el cual comprende un tramo de vía subterránea que atraviesa la pista del aeropuerto Enrique Olaya Herrera.



Figura 4. Localización general de la intersección (Fuente: Google Earth 2012)

Según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para el Municipio de Medellín (acuerdo 46 de 2006), la intersección de estudio se encuentra en la comuna 14 (Belén) y los usos del suelo establecidos para el polígono de estudio comprende los siguientes:

- Área residencial tipo I.

- Equipamientos.
- Espacio público, parques.

De acuerdo a lo establecido en el POT (acuerdo 46 de 2006) en cuanto a la jerarquización vial y a las funciones de los diferentes tipos de vías urbanas, se tiene para las vías que confluyen en la intersección la siguiente descripción:

- Carrera 70, vía arteria menor en la zona suroccidental del municipio de Medellín.
- Calle 9 (vías laterales quebrada La Guayabala), vía colectora que distribuye y canaliza el tráfico desde o hacia diferentes vías arterias, para el tramo de estudio estas vías corresponden a la Diagonal 75 B y la Carrera 70.

3.1.2 Definición del tipo de simulación y software a implementar

Para definir qué tipo de simulación era la más indicada se realizó un análisis de la configuración de la intersección, la cual se encuentra comprendida por la confluencia de dos vías (la carrera 70 y la calle 9) y es de tipo semaforizada.

Luego de determinar los parámetros geométricos y de tránsito presentes en la intersección y a partir de una observación en campo del comportamiento del flujo vehicular, se identificó que el tipo de simulación más adecuado para realizar el modelo corresponde a una microsimulación, ya que en este tipo de simulación se realiza un análisis detallado del comportamiento de cada vehículo dentro de la intersección, incluyendo los sentidos de giro dentro de ella y la velocidad de los vehículos. Las anteriores variables permiten analizar el grado de saturación, la longitud de las colas de espera y el nivel de servicio, con el fin de evaluar los conflictos presentes y así dar recomendaciones de los elementos de tránsito o la configuración geométrica.

Una vez definida el tipo de simulación, se realizó una búsqueda de software especializado en microsimulación de tráfico vehicular. Se evaluaron aspectos como: la disponibilidad, los requerimientos de licencia, los manuales de diseño incluidos en el software, la complejidad del manejo, las variables de entrada y salida requeridas para el modelo, el diseño de la interfaz, entre otros.

El software seleccionado es SIDRA INTERSECTION 5.1. Es un software de microsimulación de tráfico vehicular especializado en el estudio de intersecciones viales que permite la opción de incorporar en el modelo las especificaciones del *Highway Capacity Manual 2000* (HCM 2000), el cual es recomendado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) para el diseño de intersecciones viales. Otro aspecto determinante en la selección de este software es la disponibilidad, ya que desde el sitio web se permite descargar una licencia de prueba gratuita. Adicional a esto se encontraron en la web tutoriales claros y guías para el usuario completas, que permiten comprender el funcionamiento del software

3.1.3 Datos de entrada^[SR1]

De manera general, el Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) recomienda los siguientes datos de entrada para el análisis operacional de intersecciones señalizadas. Estos parámetros conforman la base para la selección de los valores a utilizar durante la simulación y la calibración de cualquier modelo (ver numeral 3.2). Además, el software SIDRA INTERSECTION 5.1 se encuentra ajustado a este manual, el cual, también, es el documento base recomendado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) para el diseño de intersecciones viales.

3.1.3.1 Condiciones geométricas

- Número de carriles: número de carriles por acceso
- Ancho promedio de carril: ancho promedio de carriles para toda la intersección.
- Pendiente: pendiente promedio para cada acceso y tramo de vía.
- Carriles exclusivos de giro: carriles exclusivos para giros a izquierda o derecha.
- Bahías de estacionamiento: longitud de las bahías de estacionamiento.
- Parqueaderos: identificación de los parqueaderos.

3.1.3.2 Condiciones de tráfico

- Volumen vehicular por maniobra: cantidad de vehículos por unidad de tiempo.
- Volumen base de saturación: cantidad de vehículos por unidad de tiempo en el momento de la saturación.
- Factor de hora pico (FHP ó PHF, por sus siglas en inglés): relación entre el volumen de la hora de máxima demanda y su número de periodos.
- Porcentaje de vehículos pesados: cantidad de vehículos de tipo pesado.
- Volumen de peatones por acceso: cantidad de peatones por unidad de tiempo.
- Paraderos de buses: cantidad y ubicación de los paraderos de buses.
- Actividad de parqueo: control y funcionamiento de los parqueaderos.
- Tipo de llegada: clasificación de acuerdo a la cantidad de vehículos y la fase semafórica en la cual llegan.
- Proporción de vehículos llegando en fase verde: cantidad de vehículos llegando en fase semafórica verde.

- Velocidad de llegada: cuantificación de la velocidad de llegada o aproximación a los accesos.

3.1.3.3 Condiciones de señalización

- Longitud del ciclo semafórico: suma de los tiempos de fase verde, amarilla, roja y cambios entre ellas.
- Tiempo de la fase verde.
- Tiempo de fase amarillo-cambio-rojo-cambio.
- Funcionamiento accionado: dispositivos de funcionamiento accionado de acuerdo al flujo vehicular en un instante determinado.
- Botón de paso peatonal: dispositivo de accionamiento de acuerdo al flujo peatonal en un instante dado.
- Tiempo mínimo en fase verde para paso peatonal.
- Plan de fase: indica el orden de funcionamiento de cada dispositivo de control.
- Periodo de análisis.

3.1.4 Datos de salida del software

Al igual que en la determinación de los datos de entrada, los datos de salida necesarios para los análisis posteriores se seleccionaron de acuerdo a la metodología de análisis por nivel de servicio, o L.O.S. por sus siglas en inglés, recomendada por Highway Capacity Manual (HCM 2000). Los siguientes datos de salida serán analizados por maniobra, acceso y para la intersección en general.

- Volumen: cantidad de vehículos, ajustado por el software.
- Relación volumen-capacidad (v/c): proporción de utilización.
- Tiempo de demora: tiempo que tarda un vehículo en sobrepasar la intersección.
- Nivel de servicio (LOS): clasificación del nivel servicio de acuerdo al tiempo de demora.
- Longitud de cola: longitud de la cola de vehículos formada.
- Velocidad: velocidad promedio de los vehículos.

3.1.5 Escenarios de simulación

Para realizar la simulación se definieron cuatro situaciones diferentes, cada una de estas corresponde a un escenario. A continuación se explican los escenarios de simulación.

- **Escenario 1 (base)**

Es el escenario base para el año 2012. Este modelo muestra el comportamiento del flujo vehicular en las condiciones actuales en la intersección de la carrera 70 con la calle 9.

- **Escenario 2**

Corresponde al escenario 1 proyectado al año 2020.

- **Escenario 3**

Este escenario representa la situación del escenario 2 en conjunto con la construcción de una vía subterránea en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera, con un portal de acceso en la intersección de la carrera 70 con la calle 9 (laterales quebrada La Guayabala). La configuración geométrica usada para este escenario fue la propuesta por el diseño de la Unidad de Vías del Departamento Administrativo de Planeación del Municipio de Medellín.

- **Escenario 4**

Este escenario es igual al escenario 3. Representa la situación del escenario 2 en conjunto con la construcción de una vía subterránea en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera, con un portal de acceso en la intersección de la carrera 70 con la calle 9 (laterales quebrada La Guayabala). La configuración geométrica usada para este escenario fue una propuesta de elaboración propia.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Para la construcción del modelo fue necesario realizar estudios de campo con el fin de identificar los parámetros geométricos de la intersección y los elementos de tránsito y señalización vial.

3.2.1 Estudios de campo

3.2.1.1 Parámetros geométricos

Para definir los parámetros geométricos de la intersección en las condiciones actuales se realizaron mediciones en campo. A continuación, en la Tabla 4 y la Figura 5, se muestran los parámetros geométricos de la intersección.

Tabla 4. Parámetros geométricos

Acceso	Número de carriles	Ancho de carril (m)	Pendiente (%)
Norte	3	3,60	1
Sur	2	2,80	-1
Occidente	2	3,50	-1

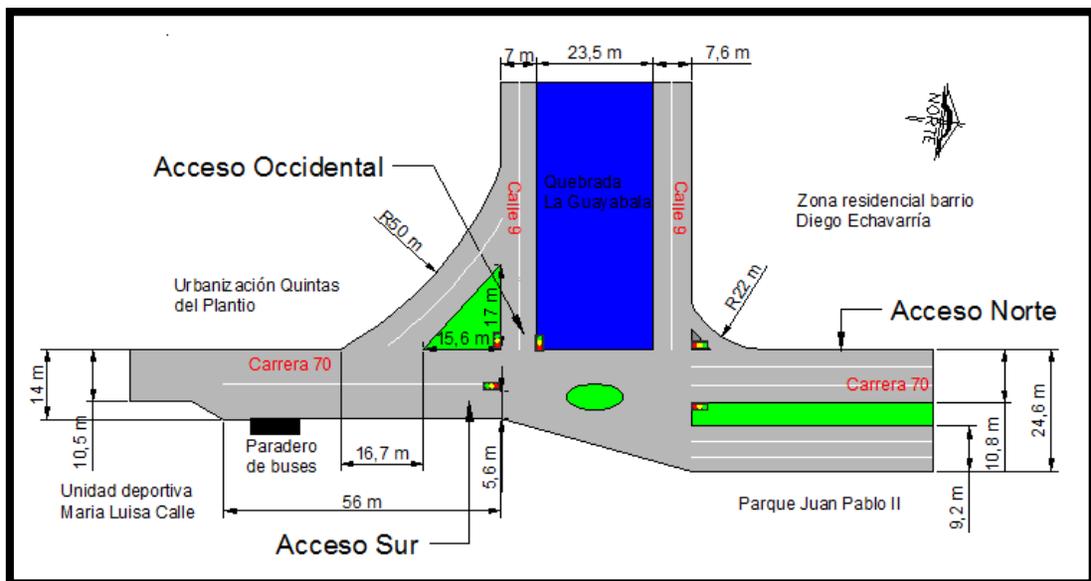


Figura 5. Geometría actual de la intersección (Fuente: elaboración propia).

3.2.1.2 Tránsito y señalización vial

Al igual que en los parámetros geométricos, se realizó una inspección visual y un inventario de las señales y dispositivos que intervienen en la regulación y comportamiento del flujo vehicular de la intersección. Las señales y dispositivos fueron corroboradas de acuerdo a la clasificación y diseño del Manual de Señalización del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). A continuación en la Figura 6 se muestra un esquema de la intersección con la identificación de los accesos, los sentidos de circulación y la señalización horizontal.

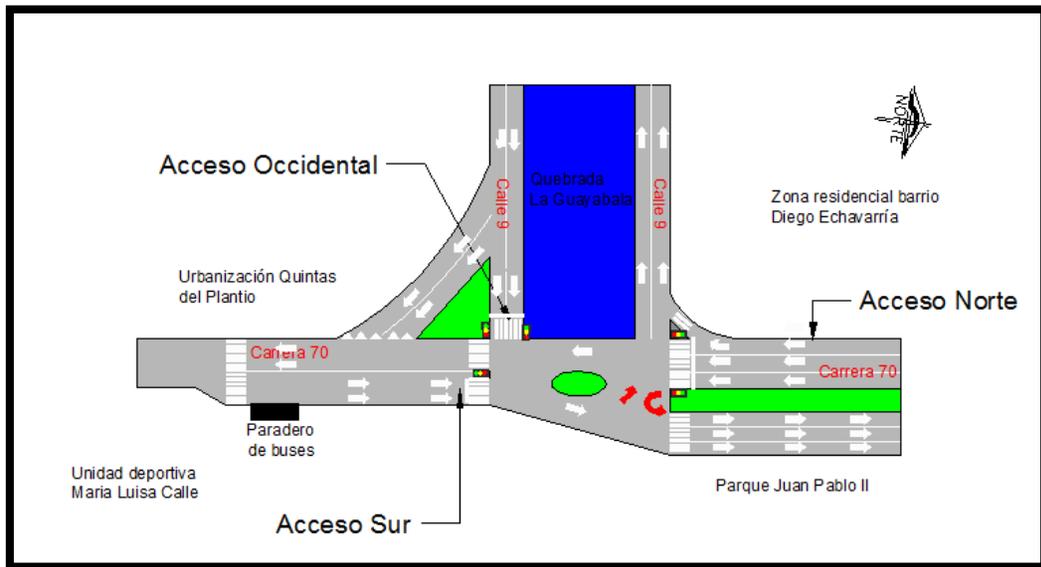


Figura 6. Esquema actual de maniobras en la intersección de la carrera 70 con la calle 9. Las flechas blancas indican las maniobras permitidas y las rojas las no permitidas. (Fuente: elaboración propia).

La Figura 7 muestra el esquema de la intersección con la ubicación del observador para las fotos tomadas en cada acceso y la numeración de las mismas.

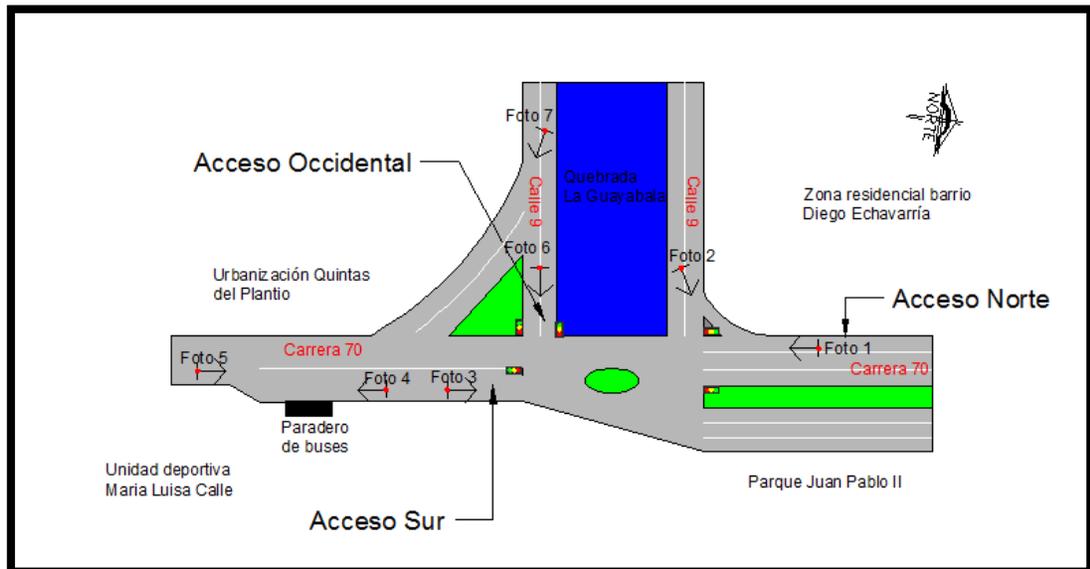


Figura 7. Esquema de toma de fotos (el sentido de la flecha indica hacia donde está mirando el fotógrafo). (Fuente: elaboración propia).

- **Acceso norte**

El acceso norte se ubica sobre la carrera 70 en sentido norte-sur, está comprendido por dos maniobras de frente (norte-sur) y giro a derecha (norte-occidente). La maniobra hacia el frente se encuentra controlada por dos semáforos ubicados en la margen derecha e izquierda de la vía, ver Foto 1.

En cuanto a la señalización horizontal, los carriles se encuentran debidamente delimitados por líneas de separación. Las señales de sentido de circulación se encuentran en regular estado al igual que el paso de cebra. Este acceso no presenta señales verticales.



Foto 1. Acceso norte. El observador está parado en el acceso norte mirando hacia el sur. (Fuente: elaboración propia).

Los semáforos de este acceso son de tiempo fijo. Para la identificación del ciclo de fases (ver numeral 1.3.8.4) se realizaron mediciones de los tiempos de duración de cada fase (rojo, verde y amarillo) con cronometro en el sitio. A continuación en la Tabla 5 se muestra la distribución del tiempo de fases para el acceso norte:

Tabla 5. Tiempo de fases acceso norte

Fase	Rojo	Verde	Amarillo
Tiempo (s)	30	70	3

La maniobra hacia la derecha desde el norte no se encuentra controlada por ningún dispositivo. Tiene un paso de cebra y presenta señalización del sentido de circulación, ver Foto 2.



Foto 2. Maniobra hacia la derecha en el acceso norte. El observador está parado en el acceso occidental mirando hacia el oriente. (Fuente: elaboración propia).

- **Acceso sur**

El acceso sur se ubica sobre la carrera 70 en sentido sur-norte. Se encuentra controlado por dos semáforos ubicados en la margen derecha e izquierda de la vía. Estos semáforos son de tiempo fijo, con un ciclo de fases distribuido igual al del acceso norte, ver Tabla 5.

En cuanto a la señalización horizontal, los carriles no se encuentran debidamente delimitados por líneas de separación, sin embargo el funcionamiento que se observa en el acceso es que el flujo vehicular se distribuye en dos carriles. No tiene señales de sentido de circulación. El paso de cebra se encuentra en buen estado. No presenta señales verticales. El estado de la carpeta asfáltica es regular debido a varios agrietamientos y hundimientos, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Foto 3. Acceso sur. El observador está parado en el acceso sur mirando hacia el norte. (Fuente: elaboración propia).

Este acceso cuenta con un paradero de buses de transporte público ubicado a 56 m antes del cruce con la calle 9, por lo cual tiene un ensanchamiento en la calzada como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Foto 4 y la Foto 5.



Foto 4. Paradero de buses en el acceso sur. El observador está parado en el acceso sur mirando hacia el sur. (Fuente: elaboración propia).



Foto 5. Señal de parada de buses en el acceso sur. El observador está parado en el acceso sur mirando hacia el norte. (Fuente: elaboración propia).

- **Acceso occidental**

El acceso occidental se ubica sobre la calle 9 en sentido occidente-oriente. Las maniobras permitidas para los usuarios son el giro a izquierda (occidente-norte) y derecha (occidente-sur). La maniobra hacia la izquierda se encuentra controlada por dos semáforos ubicados en la margen derecha e izquierda de la vía. Estos semáforos son de tiempo fijo, con un ciclo de fases distribuido como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6. Tiempo de fases acceso occidental

Fase	Rojo	Verde	Amarillo
Tiempo (s)	70	30	3

En cuanto a la señalización horizontal, los carriles se encuentran debidamente delimitados por líneas de separación. Las señales de sentido de circulación se encuentran en regular estado al igual que el paso de cebra. No presenta señales verticales. El estado de la carpeta asfáltica no se encuentra en buenas condiciones debido a varios agrietamientos y hundimientos, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Foto 6. Acceso occidental. El observador está parado en el acceso occidental mirando hacia el oriente. (Fuente: elaboración propia).

La maniobra hacia la derecha no se encuentra regulada por ningún tipo de dispositivo de control. Presenta señalización del sentido de circulación, delimitación del carril y tiene una señal horizontal de ceder el paso. La carpeta asfáltica se encuentra deteriorada, ver Foto 7.



Foto 7. Maniobra hacia la derecha del acceso occidental. El observador está parado en el acceso occidental mirando hacia el sur. (Fuente: elaboración propia).

3.2.2 Escenario base

Este escenario corresponde a la situación actual (año 2012) de la intersección. Para determinar los volúmenes actuales de la intersección se realizaron aforos vehiculares durante los días martes, miércoles y jueves 2, 3 y 4 de octubre de 2012, en el periodo comprendido entre las 15:30 p.m. y las 17:30 p.m., los días martes y miércoles, y entre las 15:45 p.m. y las 17:45 p.m. el día jueves.

Estos días fueron seleccionados debido a que corresponden a los días más típicos de una semana laboral, además de apoyar esta decisión en los resultados de los diferentes estudios de tránsito y movilidad como el Plan Maestro de Movilidad, Encuesta Origen y Destino del Valle de Aburrá, experiencia propia y la opinión de expertos.

El horario de aforo se estableció a partir los resultados obtenidos en el análisis de intersecciones del Plan Especial de Ordenamiento Zonal, Zonas 4 y 6, realizado por la Escuela de Ingeniería de Antioquia y liderado por la Alcaldía de Medellín, en el cual se presenta que la intersección de la carrera 70 con la calle 9 tiene su hora de máxima demanda entre las 16:30 p.m. y las 17:30 p.m., por lo cual se seleccionó este horario como el periodo crítico o más desfavorable para la recolección de datos y análisis posteriores. Además, se consideró que no solo debía aforarse dentro del periodo mencionado sino que se debía incluir una hora de anticipación para obtener un conocimiento previo del comportamiento del flujo vehicular y no tener un periodo muy ajustado.

Para la conversión de los volúmenes de vehículos mixtos a vehículos equivalentes se utilizaron los siguientes factores de equivalencia, ver Tabla 7:

Tabla 7. Factores de equivalencia vehicular.

Factores de equivalencia (PCU)	
Automóvil	1,0
Bus	2,0
Camión	2,5
Moto	0,5
Bicicleta	0,2

A continuación se muestran los resultados de los aforos discriminados por acceso y maniobra:

a. Acceso sur

- **Maniobra hacia el frente**

La Tabla 8 contiene los resultados de la hora de máxima demanda para cada día de aforo, discriminado por tipo de vehículo y con el total de vehículos tanto mixtos como equivalentes, de la maniobra hacia el frente del acceso sur.

Tabla 8. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso sur, maniobra hacia el frente.

Fecha	02/10/2012	03/10/2012	04/10/2012
HMD	16:30-17:30	16:30-17:30	16:45-17:45
Autos y taxis	625	657	654
Buses	25	15	19
Camiones	18	8	9
Motos	312	325	344
Total mixtos	980	1005	1026
Total equivalentes	876	870	888

La Figura 8 muestra la variación diaria para cada tipo de vehículo, tanto mixtos como equivalentes, en la hora de máxima demanda de la maniobra hacia el frente del acceso sur.

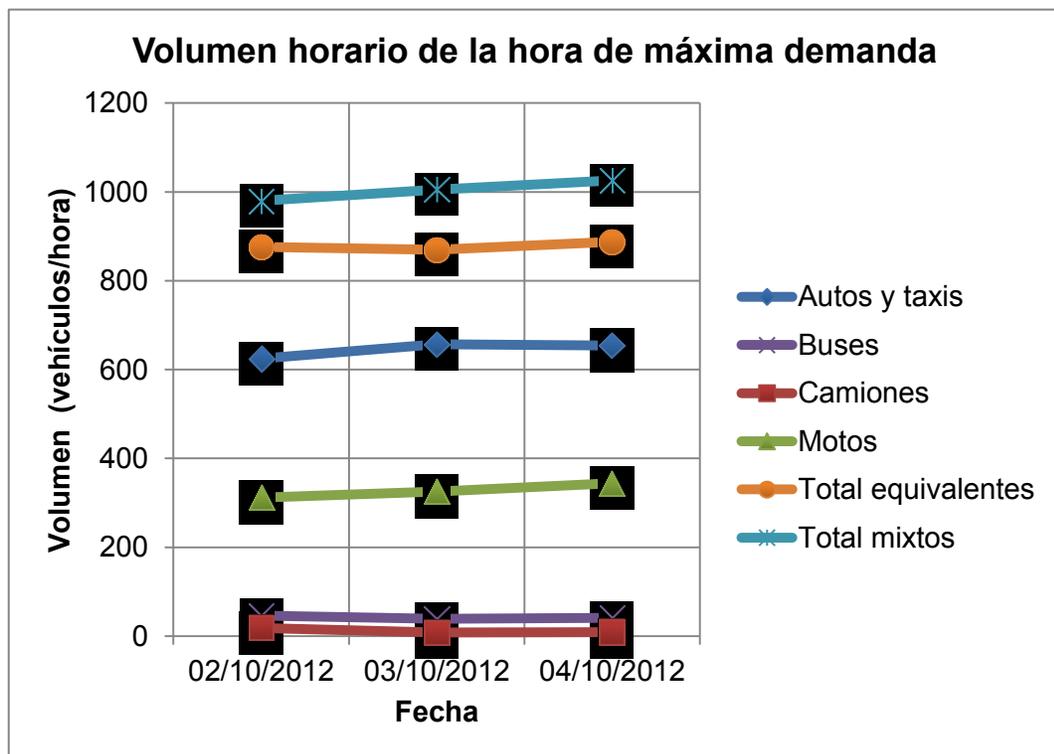


Figura 8. Volumen horario en la hora de máxima demanda. Acceso sur; maniobra hacia el frente.

La Figura 9 muestra la composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda para cada día de aforo de la maniobra hacia el frente del acceso sur.

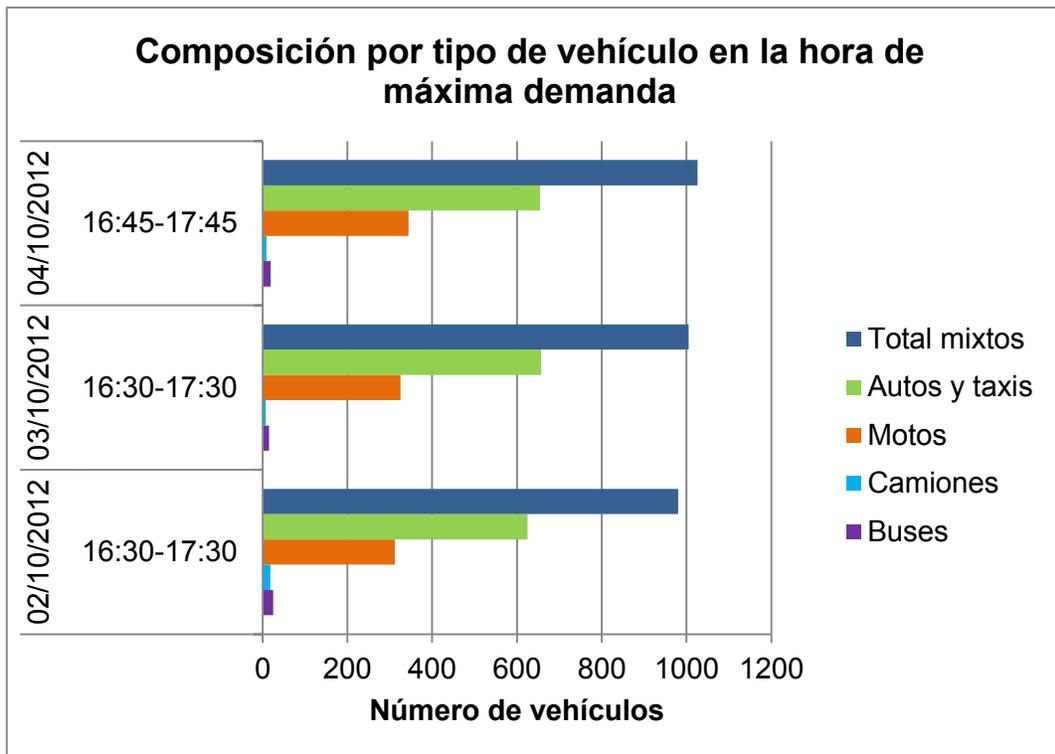


Figura 9. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso sur; maniobra hacia el frente.

b. Acceso norte

- **Maniobra hacia el frente**

La Tabla 9 contiene los resultados de la hora de máxima demanda para cada día de aforo, discriminado por tipo de vehículo y con el total de vehículos tanto mixtos como equivalentes, de la maniobra hacia el frente del acceso norte.

Tabla 9. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia el frente.

Fecha	02/10/2012	03/10/2012	04/10/2012
HMD	15:30-16:30	15:45-16:45	16:15-17:15
Autos y taxis	173	162	157
Buses	148	151	157
Camiones	163	166	182
Motos	139	194	175
Total mixtos	623	673	671
Total equivalentes	575	634	623

La Figura 10 muestra la variación diaria para cada tipo de vehículo, tanto mixtos como equivalentes, en la hora de máxima demanda de la maniobra hacia el frente del acceso norte.

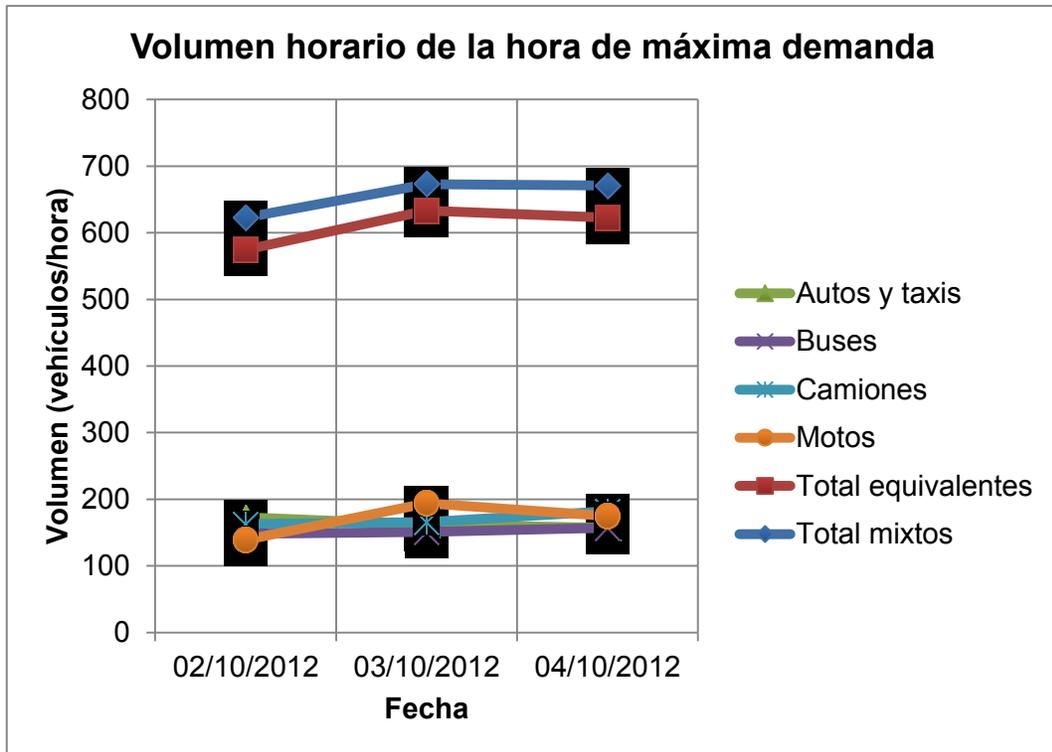


Figura 10. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia el frente.

La Figura 11 muestra la composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda para cada día de aforo de la maniobra hacia el frente del acceso norte.

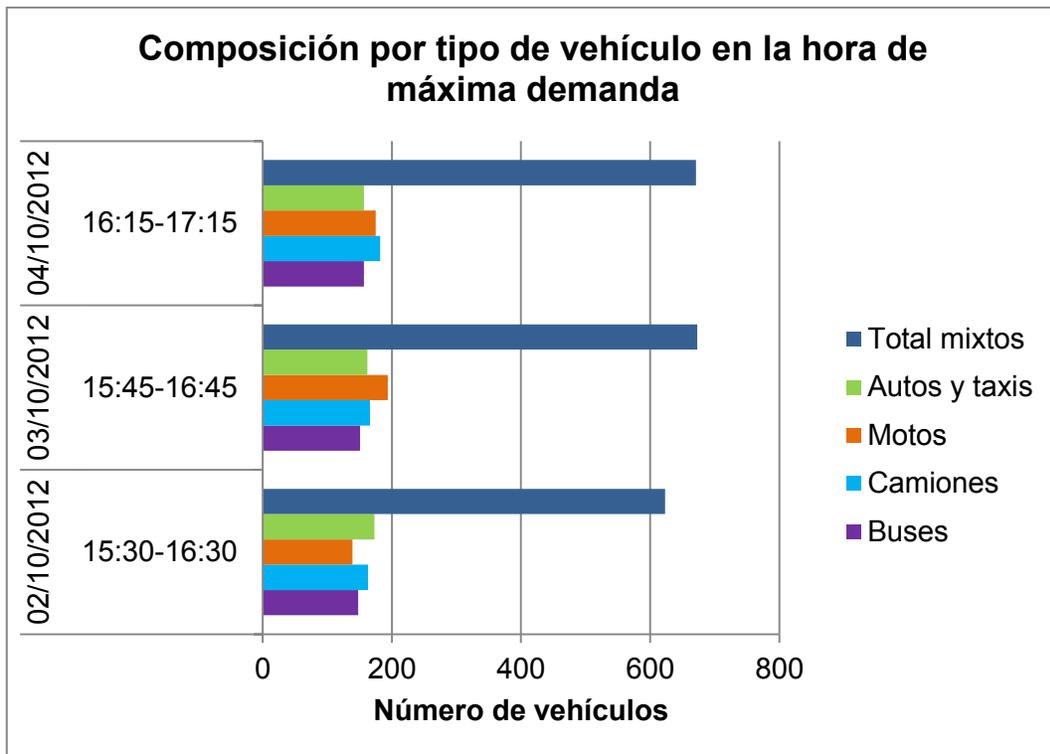


Figura 11. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia el frente.

- **Maniobra hacia la derecha**

La Tabla 10 contiene los resultados de la hora de máxima demanda para cada día de aforo, discriminado por tipo de vehículo y con el total de vehículos tanto mixtos como equivalentes, de la maniobra hacia la derecha del acceso norte.

Tabla 10. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia la derecha.

Fecha	02/10/2012	03/10/2012	04/10/2012
HMD	16:30-17:30	16:30-17:30	16:45-17:45
Autos y taxis	102	116	118
Buses	80	110	129
Camiones	126	135	154
Motos	158	140	126
Total mixtos	466	501	527
Total equivalentes	418	456	471

La Figura 12 muestra la variación diaria para cada tipo de vehículo, tanto mixtos como equivalentes, en la hora de máxima demanda de la maniobra hacia la derecha del acceso norte.

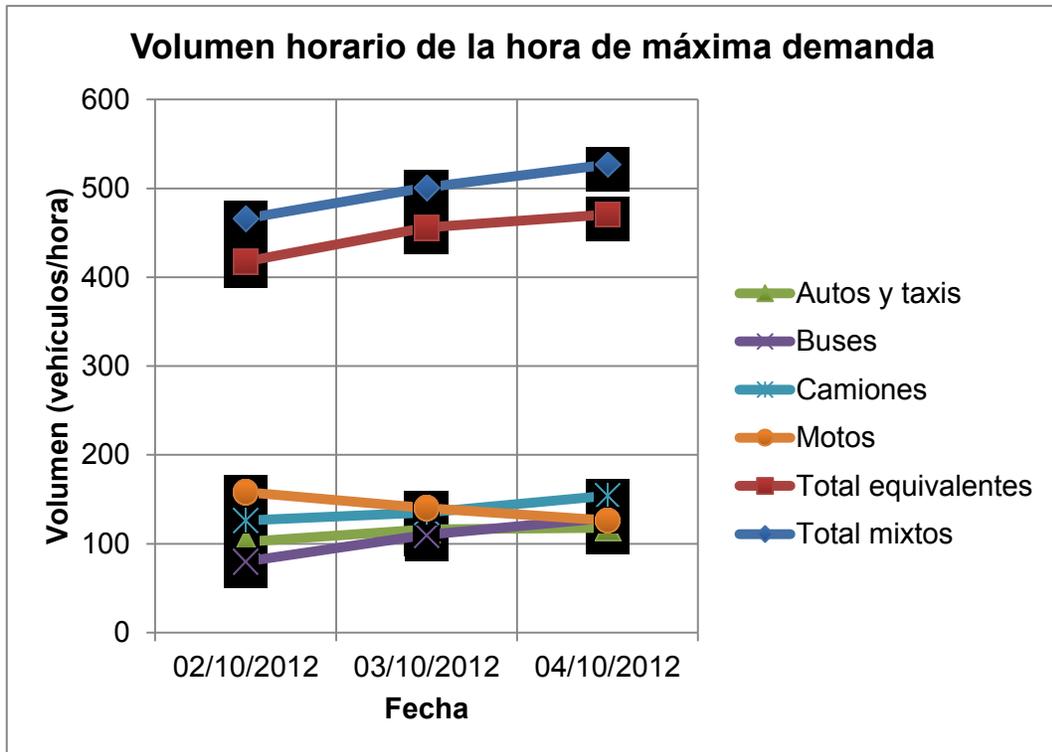


Figura 12. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia la derecha.

La Figura 13 muestra la composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda para cada día de aforo de la maniobra hacia la derecha del acceso norte.

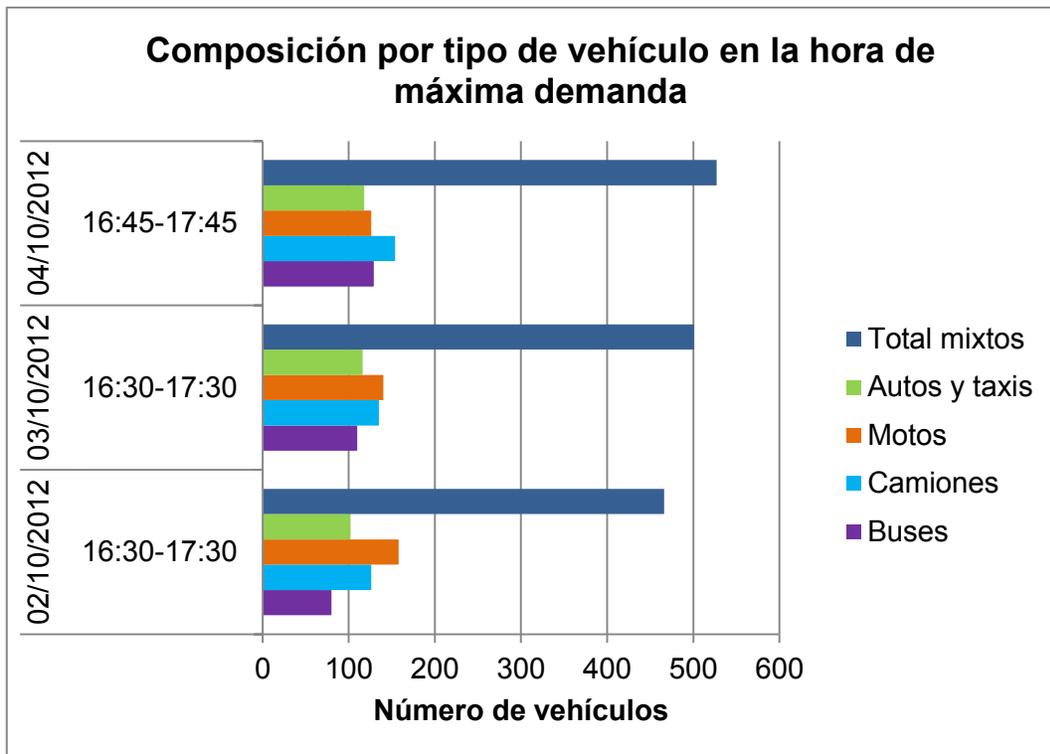


Figura 13. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso norte; maniobra hacia la derecha.

c. Acceso occidental

- Maniobra hacia la izquierda

La Tabla 11 contiene los resultados de la hora de máxima demanda para cada día de aforo, discriminado por tipo de vehículo y con el total de vehículos tanto mixtos como equivalentes, de la maniobra hacia la izquierda del acceso occidental.

Tabla 11. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la izquierda.

Fecha	02/10/2012	03/10/2012	04/10/2012
HMD	15:45-16:45	15:45-16:45	16:15-17:15
Autos y taxis	85	93	90
Buses	79	59	100
Camiones	83	67	99
Motos	85	103	110
Total mixtos	332	322	399
Total equivalentes	309	294	365

La Figura 14 muestra la variación diaria para cada tipo de vehículo, tanto mixtos como equivalentes, en la hora de máxima demanda de la maniobra hacia la izquierda del acceso occidental.

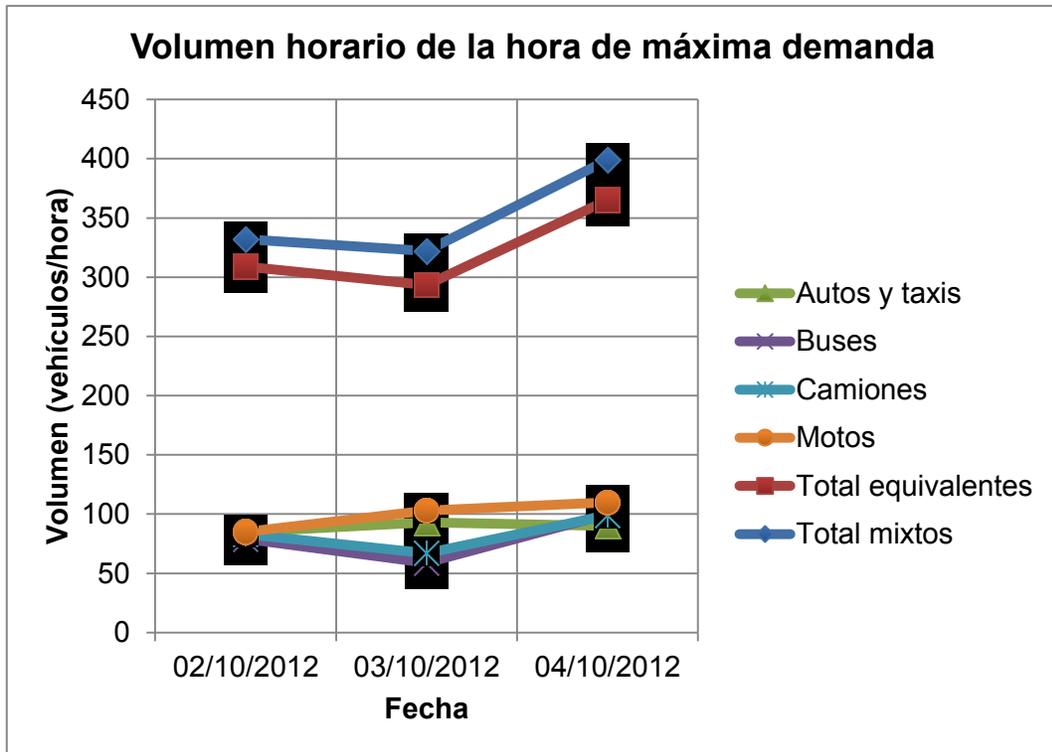


Figura 14. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la izquierda.

La Figura 15 muestra la composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda para cada día de aforo de la maniobra hacia la izquierda del acceso occidental.

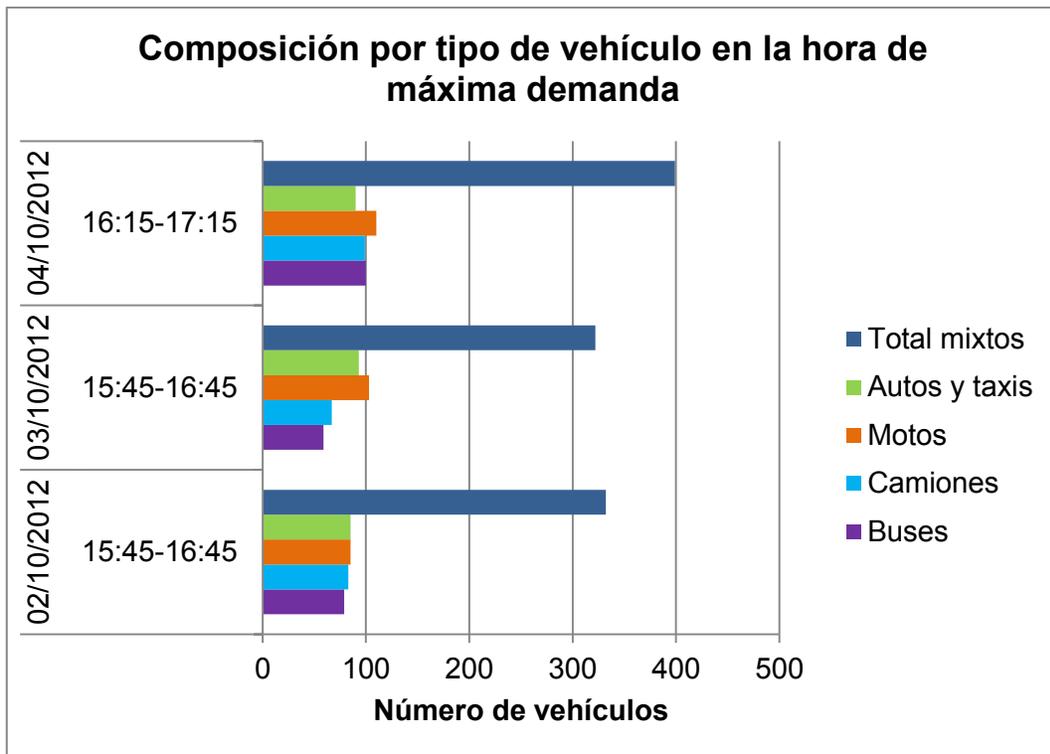


Figura 15. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la izquierda.

- **Maniobra hacia la derecha**

La Tabla 12 contiene los resultados de la hora de máxima demanda para cada día de aforo, discriminado por tipo de vehículo y con el total de vehículos tanto mixtos como equivalentes, de la maniobra hacia la derecha del acceso occidental.

Tabla 12. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la derecha.

Fecha	02/10/2012	03/10/2012	04/10/2012
HMD	15:45-16:45	16:15-17:15	15:30-16:30
Autos y taxis	41	33	28
Buses	37	43	32
Camiones	27	42	37
Motos	37	47	34
Total mixtos	142	165	131
Total equivalentes	138	158	128

La Figura 16 muestra la variación diaria para cada tipo de vehículo, tanto mixtos como equivalentes, en la hora de máxima demanda de la maniobra hacia la derecha del acceso occidental.

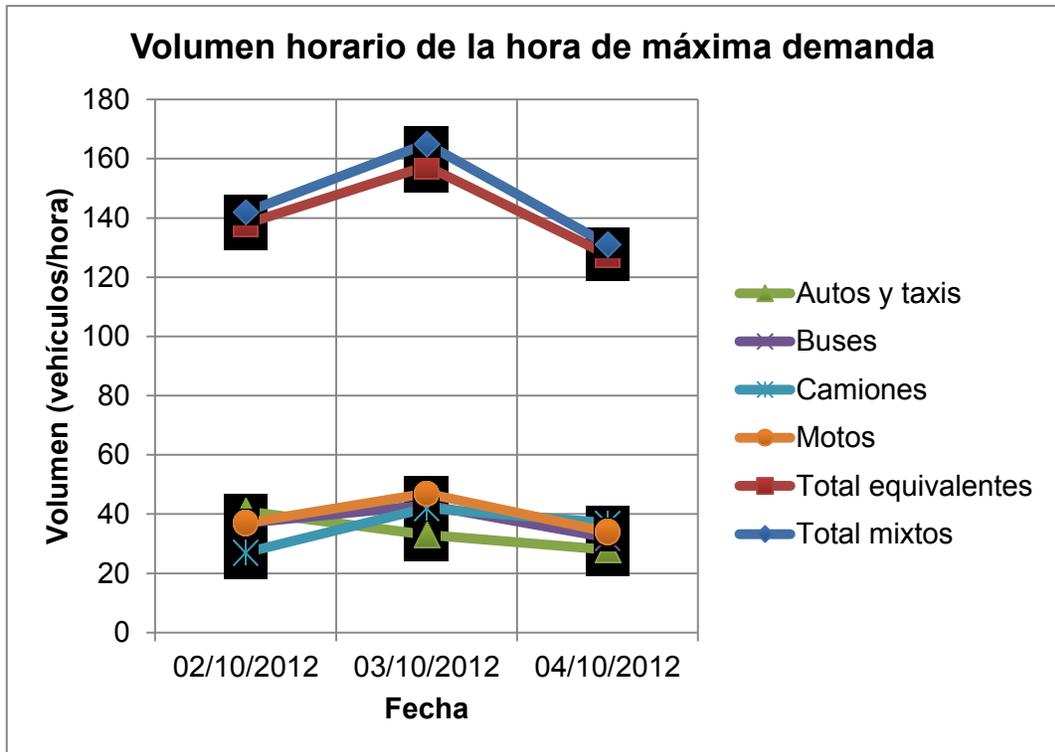


Figura 16. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la derecha.

La Figura 17 muestra la composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda para cada día de aforo de la maniobra hacia la derecha del acceso occidental.

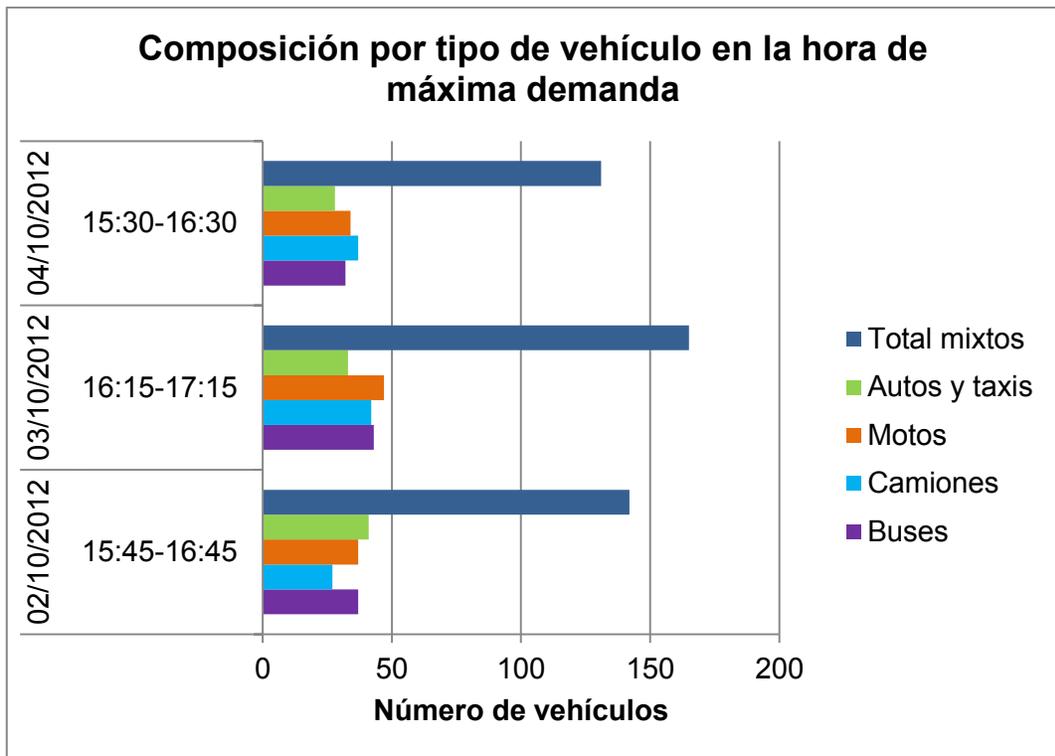


Figura 17. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Acceso occidental; maniobra hacia la derecha.

d. Total de la intersección.

La Tabla 13 contiene los resultados de la hora de máxima demanda para cada día de aforo, discriminado por tipo de vehículo y con el total de vehículos tanto mixtos como equivalentes, de toda la intersección, es decir, de la interacción de todos sus accesos.

Tabla 13. Resultados de los aforos para la hora de máxima demanda. Total de la intersección.

Fecha	02/10/2012	03/10/2012	04/10/2012
HMD	16:30-17:30	16:30-17:30	16:30-17:30
Autos y taxis	1709	1857	1888
Buses	46	39	41
Camiones	41	42	43
Motos	711	736	734
Total mixtos	2507	2674	2706
Total equivalentes	2259	2408	2445

La Figura 18 muestra la variación diaria para cada tipo de vehículo, tanto mixtos como equivalentes, en la hora de máxima demanda de toda la intersección, es decir, de la interacción de todos sus accesos.

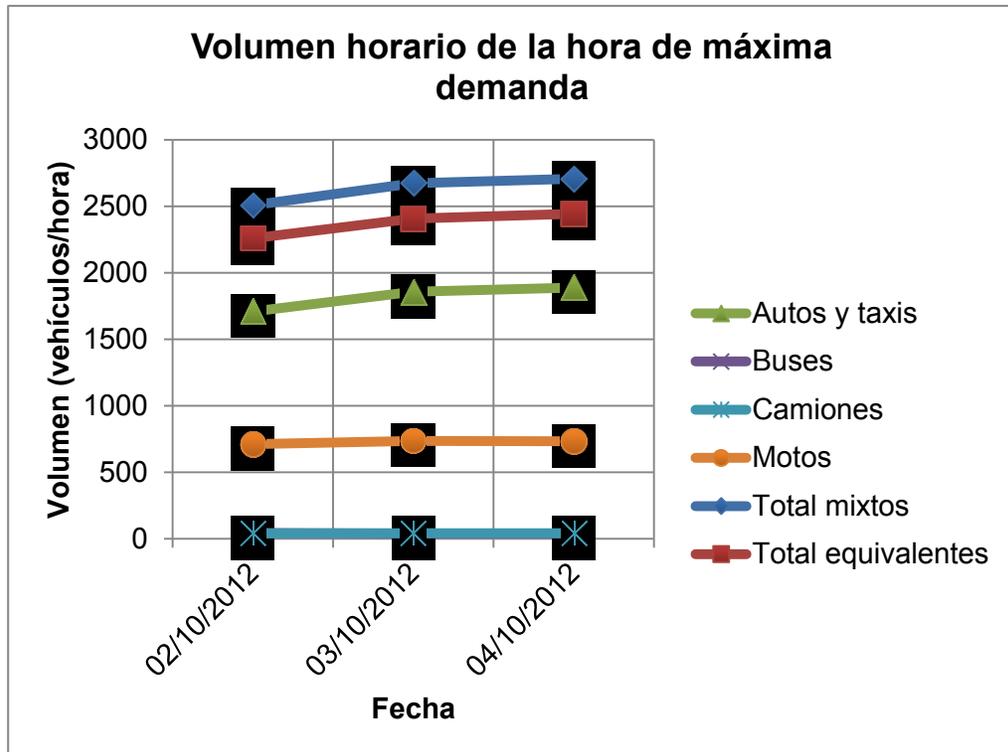


Figura 18. Volumen horario de la hora de máxima demanda. Total de la intersección.

La Figura 19 muestra la composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda para cada día de aforo de toda la intersección, es decir, de la interacción de todos sus accesos.

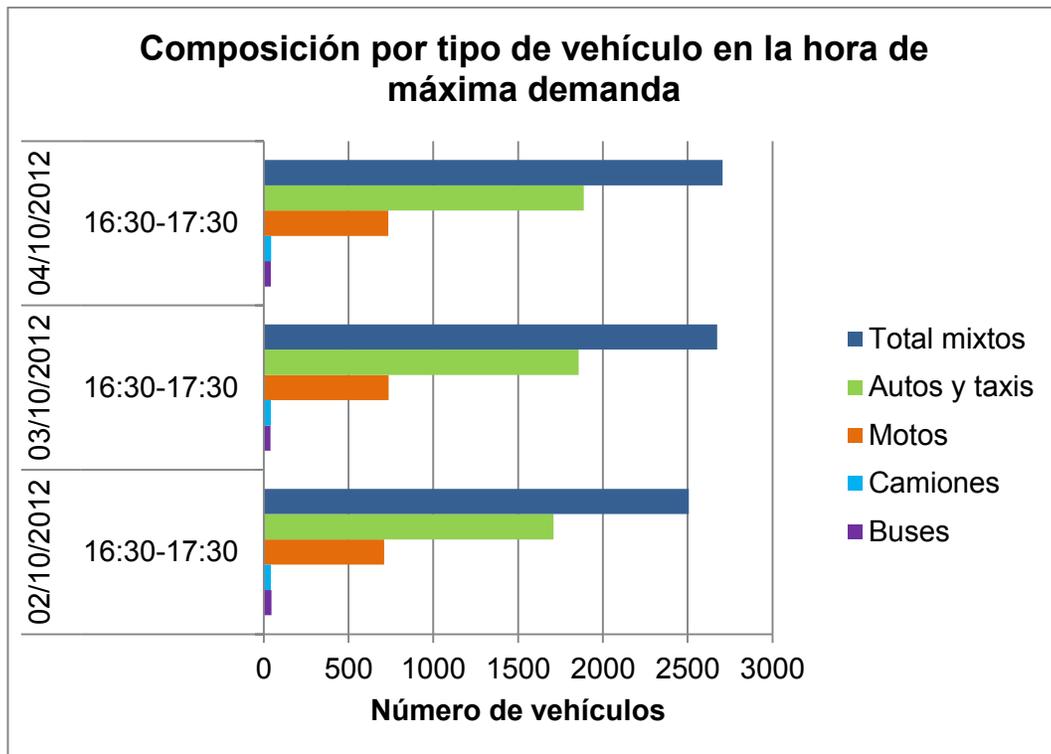


Figura 19. Composición por tipo de vehículo en la hora de máxima demanda. Total de la intersección.

3.2.3 Escenario 2

El año de corte de este escenario es el año 2020 y simula el comportamiento de la intersección sin el proyecto. Para este escenario se realiza la proyección de los volúmenes vehiculares del escenario base para cada año posterior al 2012, hasta el año de simulación 2020. La metodología seguida es la planteada por los autores Rafael Cal y Mayor R. y James Cárdenas G. en la 7a. Edición del libro "Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones". El procedimiento se explica a continuación:

El tránsito futuro (TF) se debe basar tanto en los volúmenes normales actuales (TA) como en los incrementos del tránsito (IT). (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 1998). De acuerdo a lo anterior:

$$TF = TA + IT \text{ (Ecuación 3)}$$

El tránsito actual (TA) está conformado por el tránsito existente (TE) y el tránsito atraído (TAt).

$$TA = TE + TAt \text{ (Ecuación 4)}$$

El tránsito existente corresponde al volumen total de la intersección en vehículos equivalentes en la hora de máxima de demanda del año 2012. Según los aforos realizados se tiene un TE = 2445 veq/h para el año 2012, ver tabla 13.

Para este escenario no existiría un tránsito atraído ya que en la zona de estudio no se contemplan proyectos de infraestructura que pudieran atraer nuevos viajes, por lo cual se espera que los usuarios no cambien ni el origen, ni su destino, ni el modo de viaje.

El incremento del tránsito (IT) corresponde al volumen que se espera para el año 2020. Este se encuentra conformado por el crecimiento normal del tránsito (CNT), el tránsito generado (TG) y el tránsito desarrollado (TD):

$$IT = CNT + TG + TD \text{ (Ecuación 5)}$$

El tránsito generado “consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los de transporte público que no se realizarían si no se construye la nueva carretera” (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 1998).

El tránsito desarrollado es el resultante de las mejoras en el suelo adyacente por la construcción del nuevo proyecto vial, es decir, sería el tránsito que se generaría si debido a la construcción del proyecto se ubican establecimientos de comercio, restaurantes, clínicas o puntos nuevos de interés que resulten atractivos y atraigan nuevos viajes de los usuarios.

A partir de los datos del total del parque automotor para el periodo comprendido del año 2007 al año 2011 establecidos en el informe de movilidad y espacio público publicado por el programa “Medellín Cómo Vamos” (año 2010) de la alcaldía de Medellín, se determinó un crecimiento anual promedio del 8,53 %. Lo anterior se muestra en la Tabla 14 y Tabla 15:

Tabla 14. Total parque automotor para el periodo 2007-2011.

Año	Total parque automotor
2007	700.000
2008	767.548
2009	854.473
2010	936.365
2011	1.018.257

Tabla 15. Crecimiento promedio anual para el periodo 2007-2011.

Periodo	Crecimiento
2007-2008	8,80 %
2008-2009	10,17 % *
2009-2010	8,75 %
2010-2011	8,04 %

Periodo	Crecimiento
Promedio	8,53 %

*Este dato no se tiene en cuenta para el promedio debido a que está por encima del promedio de los otros años.

De esta forma, el CNT adoptado es del 8,53% del tránsito actual para cada uno de los años proyectados.

Este escenario no contiene la construcción de nueva infraestructura vial y el desarrollo de nuevos proyectos que mejore las condiciones del suelo adyacentes. De acuerdo a lo anterior se tiene TG = 0 y TD = 0.

A partir del tránsito futuro se calcula un factor de proyección (FP), el cual se define como la relación entre el tránsito futuro (TF) y el tránsito actual (TA).

$$FP = \frac{TF}{TA} \text{ (Ecuación 6)}$$

En la Tabla 16 se muestran los factores de proyección calculados para cada año comprendido en el periodo de los años 2012 - 2020.

Tabla 16. Factores de proyección para el escenario 2 para cada año comprendido en el periodo año 2012- 2020.

Año	T.E. (veq/h)	T.At. (veq/h)	T.A	C.P.A *	C.N.T	T.G	T.D.	T.F.	FP
2012	2445	0	2445	0%	0	0	0	2445	-
2013	2445	0	2445	8,53%	209	0	0	2653	1,1
2014	2653	0	2653	8,53%	226	0	0	2879	1,1
2015	2879	0	2879	8,53%	246	0	0	3125	1,1
2016	3125	0	3125	8,53%	267	0	0	3391	1,1
2017	3391	0	3391	8,53%	289	0	0	3681	1,1
2018	3681	0	3681	8,53%	314	0	0	3995	1,1
2019	3995	0	3995	8,53%	341	0	0	4335	1,1
2020	4335	0	4335	8,53%	370	0	0	4705	1,1

*C.P.A: crecimiento anual del parque automotor del municipio de Medellín.

Finalmente, a partir del factor de proyección se procede a determinar la proyección de los volúmenes vehiculares de la hora de máxima demanda discriminados por acceso y maniobra y expresados en vehículos equivalentes. Los resultados de lo anterior se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17. Volúmenes proyectados para el escenario 2 para cada año comprendido en el periodo año 2012-2020.

Año	Acceso	Maniobra	Volumen (veq/h)	FP	Volumen proyectado (veq/h)
2013	Sur	De frente	888	1,1	976
	Norte	De frente	634	1,1	697
	Norte	A derecha	471	1,1	518
	Occidental	A izquierda	365	1,1	402
	Occidental	A derecha	158	1,1	173
2014	Sur	De frente	976	1,1	1060
	Norte	De frente	697	1,1	756
	Norte	A derecha	518	1,1	562
	Occidental	A izquierda	402	1,1	436
	Occidental	A derecha	173	1,1	188
2015	Sur	De frente	1060	1,1	1150
	Norte	De frente	756	1,1	821
	Norte	A derecha	562	1,1	610
	Occidental	A izquierda	436	1,1	473
	Occidental	A derecha	188	1,1	204
2016	Sur	De frente	1150	1,1	1248
	Norte	De frente	821	1,1	891
	Norte	A derecha	610	1,1	662
	Occidental	A izquierda	473	1,1	513
	Occidental	A derecha	204	1,1	221
2017	Sur	De frente	1248	1,1	1354
	Norte	De frente	891	1,1	967
	Norte	A derecha	662	1,1	718
	Occidental	A izquierda	513	1,1	557
	Occidental	A derecha	221	1,1	240
2018	Sur	De frente	1354	1,1	1470
	Norte	De frente	967	1,1	1049
	Norte	A derecha	718	1,1	779
	Occidental	A izquierda	557	1,1	605
	Occidental	A derecha	240	1,1	261
2019	Sur	De frente	1470	1,1	1595
	Norte	De frente	1049	1,1	1139
	Norte	A derecha	779	1,1	846

Año	Acceso	Maniobra	Volumen (veq/h)	FP	Volumen proyectado (veq/h)
	Occidental	A izquierda	605	1,1	656
	Occidental	A derecha	261	1,1	283
2020	Sur	De frente	1595	1,1	1731
	Norte	De frente	1139	1,1	1236
	Norte	A derecha	846	1,1	918
	Occidental	A izquierda	656	1,1	712
	Occidental	A derecha	283	1,1	307

Las celdas que figuran de color gris en la Tabla 17, corresponden a la proyección para el año 2020, la última columna de izquierda a derecha contiene los volúmenes proyectados para el año 2020 del escenario 2.

3.2.4 Escenario 3

El año de corte de este escenario es el año 2020 y simula el comportamiento de la intersección en interacción con el proyecto del deprimido. Para este escenario es necesario realizar la configuración geométrica de la intersección.

Luego de una revisión de los antecedentes de este proyecto, se encontró un trazado preliminar elaborado por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín. Con base en los diseños previos y de acuerdo a los requerimientos para realizar la microsimulación se realiza el diseño geométrico del empalme del portal occidental del deprimido con la intersección a evaluar, este se muestra en la Figura 20.

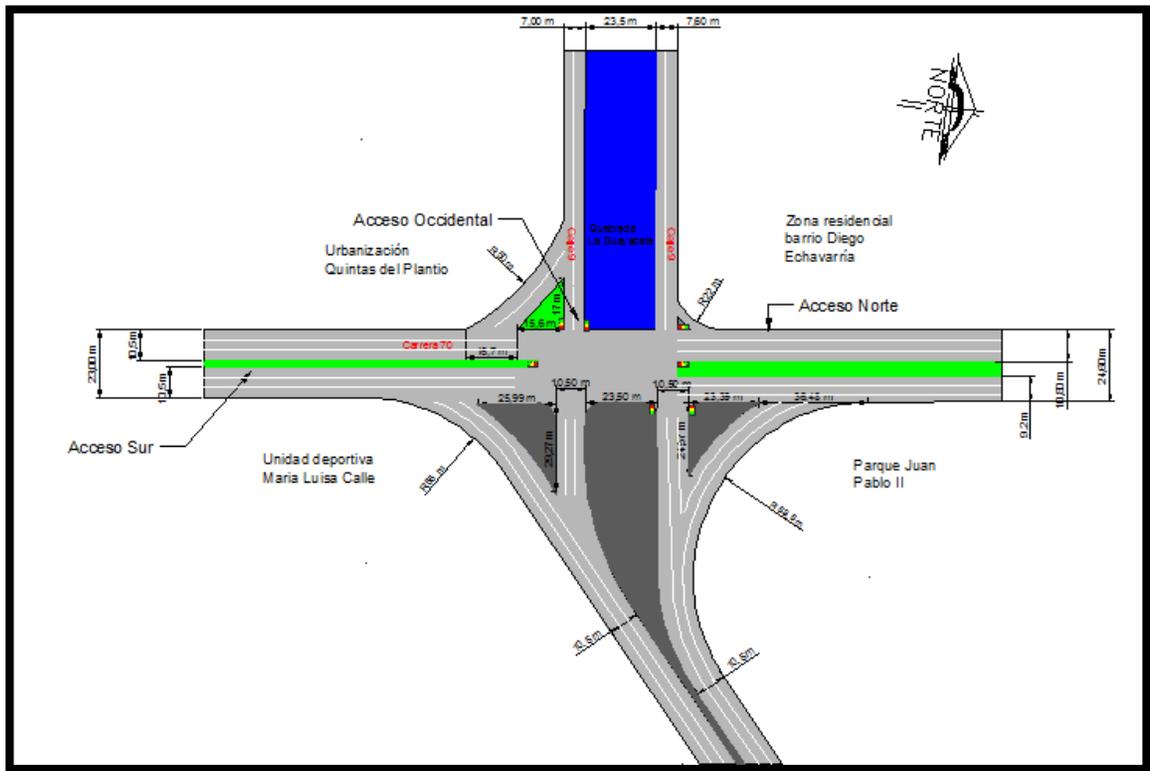


Figura 20. Configuración geométrica de la intersección para el escenario 3 con base en los diseños elaborados por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín.

En la Figura 21 se muestra un esquema de la señalización de la intersección con las maniobras permitidas.

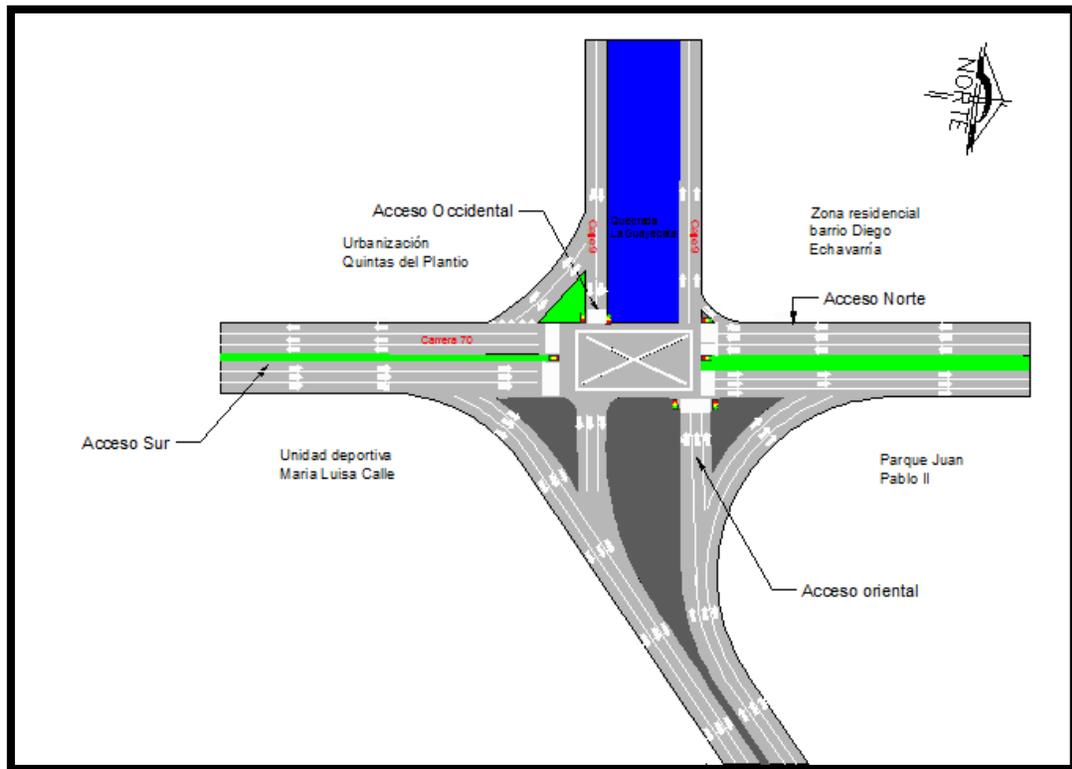


Figura 21. Esquema de maniobras de la intersección con base en los diseños elaborados por la unidad de vías del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín.

El año de corte de este escenario es el año 2020 y simula el comportamiento de la intersección con proyecto. La metodología seguida para la proyección de los volúmenes vehiculare es la misma utilizada en el escenario 2 (ver numeral 3.2.3).

Par este escenario el tránsito actual (TA) corresponde al volumen de tránsito que usará el nuevo proyecto vial una vez se encuentre en servicio. Está conformado por el tránsito existente antes de la mejora (TE) y el tránsito atraído (TA_t) proveniente de otras vías, son usuarios que no cambian ni el origen, ni su destino, ni el modo de viaje, sino que elegirían usar la vía subterránea que atravesaría bajo la pista del aeropuerto Enrique Olaya Herrera, motivados por una mejora en los tiempos y distancia de recorrido.

El tránsito existente es el mismo utilizado en el escenario 2 (TE= 2445 veq/h) y corresponde al volumen total de la intersección en vehículos equivalentes en la hora de máxima de demanda del año 2012.

El tránsito atraído corresponde a los volúmenes vehiculares de la vía subterránea. Están determinados en el Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá, en el cual, a partir de un modelo de transporte de 4 etapas y diferentes planes de proyectos bajo ciertos escenarios, se determinan las cargas medias para el año 2020.

El proyecto está incluido en los planes 2, 3, 4 y 5 optimizado, los cuales se conforman por un grupo de proyectos bajo unas situaciones definidas (ver Anexo 1). Por medio de simulaciones y de acuerdo a cada plan se determinan las cargas medias de los proyectos. En la Tabla 18 se muestra un resumen de las cargas medias obtenidas para el proyecto No. 19 “Construcción de vía subterránea (túnel aeropuerto EOH) para la conexión de la calle 10 con las laterales de la quebrada La Guayabala”.

Tabla 18. Resumen de las cargas medias para el proyecto “Construcción de vía subterránea (túnel aeropuerto EOH) para la conexión de la calle 10 con las laterales de la quebrada La Guayabala” a partir de los Planes 2, 3, 4 y 5 (Optimizado).

PLAN	CARGA MEDIA					
	2010 PM	2010 PT	2015 PM	2015 PT	2020 PM	2020 PT
2	NE	NE	NE	NE	1246	873
3	NE	NE	NE	NE	899	637
4	NE	NE	NE	NE	843	812
5 Optimizado	NE	NE	NE	NE	822	755

Nota: la unidad de la carga media se encuentra expresada en (veq/h)

- NE: proyecto no codificado en la red.
- PM: pico mañana.
- PT: pico tarde.

Las cargas medias mostradas en la Tabla 18 corresponden al flujo vehicular total en ambos sentidos de circulación. Por esto fue necesario realizar una estimación de la distribución de los volúmenes vehiculares a lo largo del tramo de vía subterránea. El volumen seleccionado para la construcción del modelo de microsimulación es el valor de 873 veq/hr, debido a que es el mayor volumen del pico de la tarde y que corresponde con el periodo de análisis de este trabajo.

La distribución de los viajes se realizó mediante la metodología de líneas de deseo. Esta metodología identifica los pares origen y destino de los viajes realizados en un área específica y caracteriza su comportamiento en la selección de rutas para acceder de un punto “a” a un punto “b” dentro del área, por lo cual se puede obtener un esquema gráfico mediante líneas de trayectoria que unen puntos identificados y permite estimar la distribución de viajes entre los diferentes sectores. Para este trabajo, se identificaron las líneas de deseo entre los pares de origen y destino de la comunas 14, 15 y 16, Belén, Guayabal y Poblado, respectivamente, mediante el análisis de las matrices origen y destino de la encuesta Origen y Destino del Valle de Aburrá 2011, proporcionada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y se realizaron las siguientes suposiciones para la estimación de viajes entre las comunas mencionadas:

- Las zonas seleccionadas de la comuna 14, Belén, serían generadoras de viajes y aquellas que tuvieran cercanía o relación directa con el proyecto, es decir, zonas que

generarían viajes en los que la selección de su ruta tuviera como paso obligado el deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera. Este supuesto está respaldado en el hecho de que de la comuna 14 está compuesta por grandes áreas de carácter residencial.

- Las zonas seleccionadas de la comuna 15, Guayabal, serían zonas atractivas de viajes, es decir, zonas que captarían los viajes generados desde la comuna 14 y 16. Este supuesto está respaldado en el hecho de que la zona occidental de la comuna 15 está conformada por grandes áreas de uso industrial, las cuales son el destino de gran parte de los viajes originados desde las comunas 14 y 16.
- Las zonas seleccionadas de la comuna 16, Poblado, sería aquellas zonas atractivas de viajes, es decir, zonas que captarían únicamente los viajes generados desde la comuna 14 y que en la selección de su ruta tuviera como paso obligado el deprimido bajo las pistas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera.

Luego de la determinación de las líneas de deseo entre las comunas mencionadas, se clasificaron cada una de ellas de acuerdo a la posible maniobra que realizaría en el acceso oriental de la intersección de la carrera 70 con la calle 9 por medio de la trayectoria de viaje descrita y así obtener una distribución de viajes del volumen seleccionado para el deprimido.

En la Figura 22 se muestran las líneas de deseo obtenidas para los viajes entre las comunas 14, 15 y 16, clasificadas de acuerdo a la posible maniobra que realizaría en la en el acceso oriental de la intersección de la carrera 70 con la calle 9.

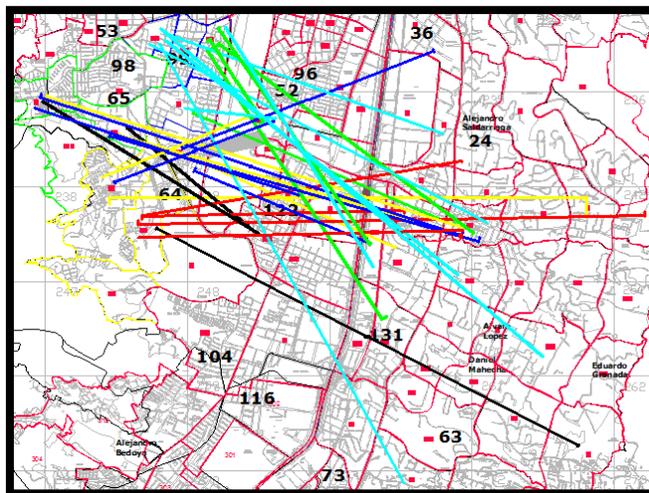


Figura 22. Líneas de deseo para los zonas seleccionadas de las comunas 14, 15 y 16.

El incremento del tránsito (IT) corresponde al volumen que se espera use el proyecto vial en el año 2020, este se encuentra conformado por el crecimiento normal del tránsito

(CNT), el tránsito generado (TG) y el tránsito desarrollado (TD), ver $IT = CNT + TG + TD$ (Ecuación 5).

Para calcular el CNT se utilizaron los

Al tratarse de un proyecto vial urbano no se tendría tránsito generado, ya que en el caso de que no se construyera la vía subterránea los usuarios del transporte privado usarían otras vías existentes de la malla vial para llegar a su destino.

Al tratarse una vía subterránea que no

A partir del tránsito futuro se calculó el factor

Tabla 19. Factores de proyección para el escenario 3 para cada año comprendido en el periodo año 2012- 2020.

Año	T.E. (veq/h)	T.At. (veq/h)	T.A	C.P.A	C.N.T	T.G	T.D.	T.F.	FP
2012	2445	0	2445	0%	0	0	0	2445	-
2013	2445	0	2445	8,53%	209	0	0	2653	1,1
2014	2653	0	2653	8,53%	226	0	0	2879	1,1
2015	2879	0	2879	8,53%	246	0	0	3125	1,1
2016	3125	0	3125	8,53%	267	0	0	3391	1,1
2017	3391	0	3391	8,53%	289	0	0	3681	1,1
2018	3681	0	3681	8,53%	314	0	0	3995	1,1
2019	3995	0	3995	8,53%	341	0	0	4335	1,1
2020	4335	873	5208	8,53%	444	0	0	5653	1,1

Finalmente, a partir del factor de proyección se procedió a calcular los volúmenes vehiculares de la hora de máxima demanda discriminados por acceso y maniobra y expresados en vehículos equivalentes. Lo anterior se muestra en la Tabla 20:

Tabla 20. Volúmenes proyectados para el escenario 3 para cada año comprendido en el periodo año 2012-2020.

Año	Acceso	Maniobra	Volumen (veq/h)	FP	Volumen proyectado (veq/h)
2013	Sur	De frente	776	1,1	853
	Norte	De frente	634	1,1	697
	Norte	A derecha	471	1,1	518
	Occidental	A izquierda	365	1,1	402
	Occidental	A derecha	158	1,1	173
2014	Sur	De frente	853	1,1	926
	Norte	De frente	697	1,1	756

Año	Acceso	Maniobra	Volumen (veq/h)	FP	Volumen proyectado (veq/h)
	Norte	A derecha	518	1,1	562
	Occidental	A izquierda	402	1,1	436
	Occidental	A derecha	173	1,1	188
2015	Sur	De frente	926	1,1	1005
	Norte	De frente	756	1,1	821
	Norte	A derecha	562	1,1	610
	Occidental	A izquierda	436	1,1	473
	Occidental	A derecha	188	1,1	204
2016	Sur	De frente	1005	1,1	1090
	Norte	De frente	821	1,1	891
	Norte	A derecha	610	1,1	662
	Occidental	A izquierda	473	1,1	513
	Occidental	A derecha	204	1,1	221
2017	Sur	De frente	1090	1,1	1183
	Norte	De frente	891	1,1	967
	Norte	A derecha	662	1,1	718
	Occidental	A izquierda	513	1,1	557
	Occidental	A derecha	221	1,1	240
2018	Sur	De frente	1183	1,1	1284
	Norte	De frente	967	1,1	1049
	Norte	A derecha	718	1,1	779
	Occidental	A izquierda	557	1,1	605
	Occidental	A derecha	240	1,1	261
2019	Sur	De frente	1284	1,1	1394
	Norte	De frente	1049	1,1	1139
	Norte	A derecha	779	1,1	846
	Occidental	A izquierda	605	1,1	656
	Occidental	A derecha	261	1,1	283
2020	Sur	De frente	1394	1,1	1513
	Sur	A derecha	-	-	27
	Norte	De frente	1139	1,1	1236
	Norte	A izquierda	-	-	252
	Norte	A derecha	846	1,1	918

Año	Acceso	Maniobra	Volumen (veq/h)	FP	Volumen proyectado (veq/h)
	Occidental	A izquierda	656	1,1	712
	Occidental	De frente	-	-	145
	Occidental	A derecha	283	1,1	307
	Oriental	A derecha	-	-	194
	Oriental	a izquierda	-	-	60
	Oriental	De frente	-	-	130

3.2.5 Escenario 4

Este escenario simula presenta las mismas características del escenario 3 la única variación se presenta en la configuración geométrica propuesta. El diseño geométrico propuesto en el escenario 3 se modificó eliminando un carril para todas las maniobras del acceso al deprimido, ver Figura 23.

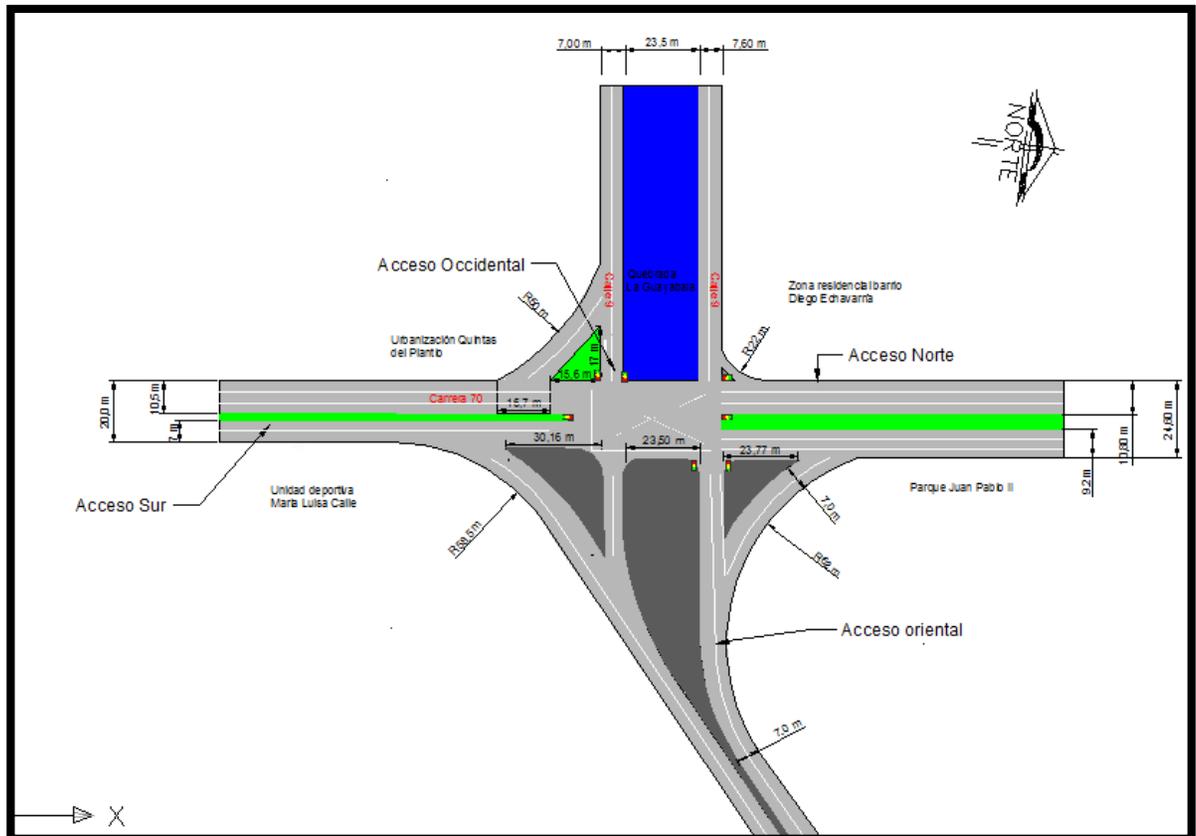


Figura 23. Configuración geométrica de la intersección para el escenario 4. (Fuente: elaboración propia).

3.3 SIMULACIÓN

El proceso de simulación se realizó en el software SIDRA INTERSECTION 5.1. A continuación se presenta los datos ingresados para la construcción del modelo y los resultados obtenidos a partir de la corrida del modelo para los escenarios base, 2, 3 y 4.

3.3.1 Escenario base

3.3.1.1 Datos de entrada

En la Tabla 21, se muestran los parámetros geométricos ingresados en el software para la construcción del modelo.

Tabla 21. Parámetros geométricos de la intersección para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Geometry - Approach & Exit Lane Data				
Lane Number	Lane Width m	Lane Length m	Grade %	SL Type
South carrera 70 (S)				
App. Lane 1	2,80	500,0	-1,00	-
App. Lane 2	2,80	500,0	-1,00	-
Exit Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 2	3,60	500,0	1,00	-
North carrera 70 (N)				
App. Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 2	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 3	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 1	3,20	500,0	-1,00	-
Exit Lane 2	3,20	500,0	-1,00	-
Exit Lane 3	3,20	500,0	-1,00	-
West calle 9 (W)				
App. Lane 1	3,50	500,0	-1,00	-
App. Lane 2	3,50	500,0	-1,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	-1,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 2	3,60	500,0	1,00	-

En la Figura 24 **Tabla 21**, se muestra el modelo de la intersección para el escenario base realizado en el software SIDRA INTERSECTION 5.1.

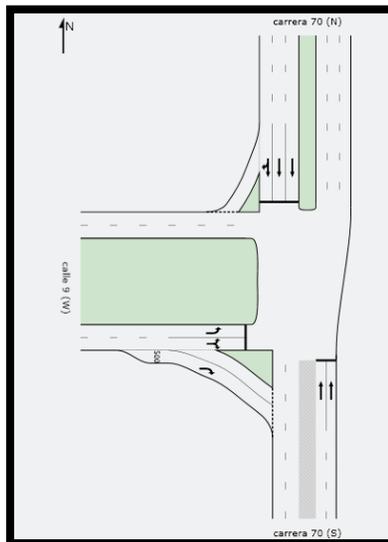


Figura 24. Modelo de la intersección para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

En la Figura 25, se indican las maniobras permitidas por acceso en la intersección. Las flechas color gris indican las maniobras que se encuentran controladas por semáforos y las moradas indican las maniobras que se encuentran controladas por una señal de ceda el paso.

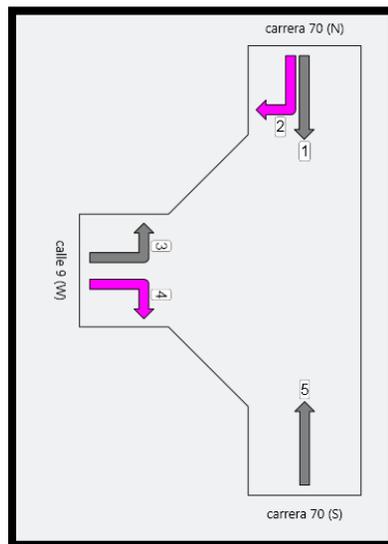


Figura 25. Identificación de maniobras por acceso para el escenario base. (fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

En la Figura 26, se muestran los volúmenes vehiculares (veq/h) ingresados en el software. El porcentaje mostrado 0,0% corresponde con el porcentaje de vehículos pesados, al ingresar los volúmenes en vehículos equivalentes estos ya están contados.

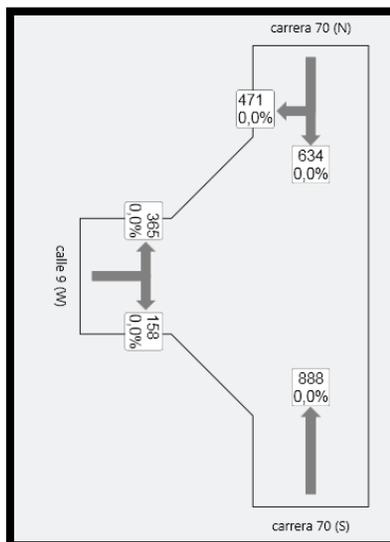


Figura 26. Volúmenes (veh/h) ingresados en el software discriminados por acceso y maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Para la construcción del modelo se definieron dos fases semafóricas la fase A y la fase B, los movimientos para cada una de estas, ver Figura 27. Las flechas verdes indican el movimiento normal vehicular, las rojas corresponden con la detención de vehículos, las magenta y moradas a las maniobras controladas por la señal de ceda el paso.

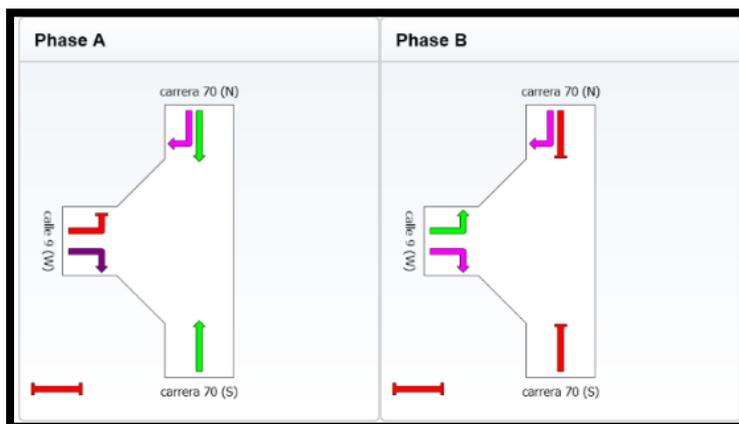


Figura 27. Esquema de fases semafóricas ingresadas para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

3.3.1.2 Resultados de la simulación

Luego de procesar los datos ingresados en el software, se obtuvo un tiempo de ciclo de fases semafóricas de 31 segundos, la distribución de los tiempos en segundos para cada fase se muestra a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22. Tiempos de fases semafóricas para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Phase	A	B
Green Time (sec)	14	9
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	1	1
Phase Time (sec)	18	13
Phase Split	58 %	42 %

En la Tabla 23, se muestra un resumen de los resultados por acceso y maniobra.

Tabla 23. Resumen de resultados por acceso y maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles veh	Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
South: carrera 70 (S)											
5	T	987	0,0	0,629	9,4	LOS A	6,9	45,5	0,80	0,69	38,9
Approach		987	0,0	0,629	9,4	LOS A	6,9	45,5	0,80	0,69	38,9
North: carrera 70 (N)											
1	T	737	0,0	0,456	6,2	LOS A	3,6	24,1	0,57	0,48	42,0
2	R	529	0,0	0,424	0,4	LOS A	0,9	5,7	0,09	0,59	43,3
Approach		1266	0,0	0,456	3,8	LOS A	3,6	24,1	0,37	0,53	42,5
West: calle 9 (W)											
3	L	401	0,0	0,401	11,0	LOS B	2,9	19,0	0,83	0,76	36,3
4	R	180	0,0	0,185	1,5	LOS A	0,9	5,9	0,42	0,64	42,3
Approach		581	0,0	0,401	8,1	LOS A	2,9	19,0	0,70	0,72	38,0
All Vehicles		2834	0,0	0,629	6,6	LOS A	6,9	45,5	0,59	0,63	40,2

En las Figura 28 a la 32, se muestran esquemas de los resultados obtenidos para los volúmenes vehiculares, la capacidad vehicular, el grado de saturación, los tiempos de demora y el nivel de servicio.

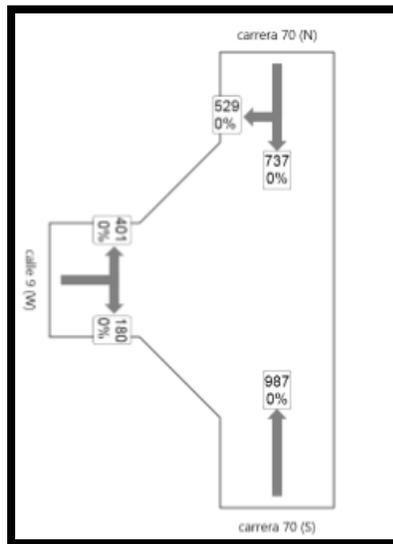


Figura 28. Volúmenes vehiculares reportados para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

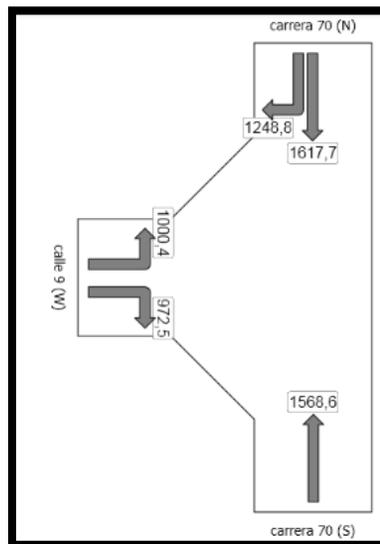


Figura 29. Capacidad en vehículos equivalentes por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

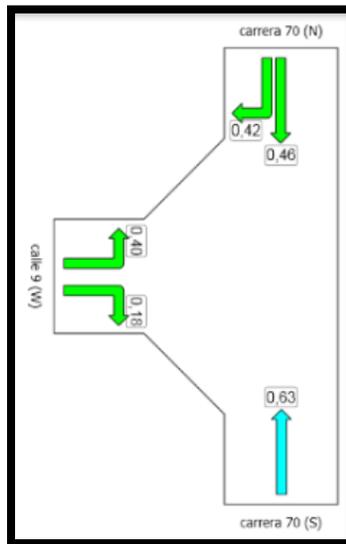


Figura 30. Grado de saturación por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTSERESCTON 5.1).

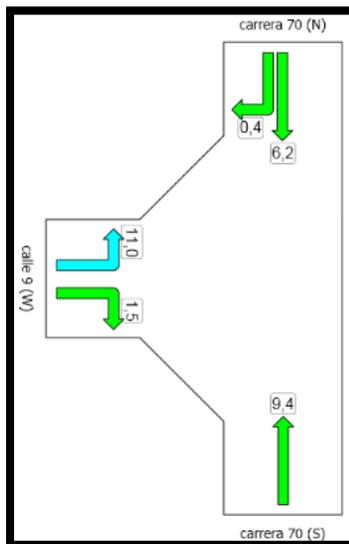


Figura 31. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

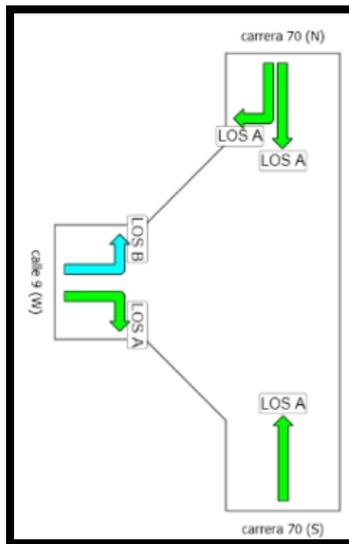


Figura 32. Nivel de servicio por maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

3.3.2 Escenario 2

3.3.2.1 Datos de entrada

Este escenario corresponde a una proyección de la situación base al año 2020 por lo cual presenta las mismas características geométricas, maniobras, fases semafóricas del escenario base (ver numeral 3.3.1.1).

Los volúmenes vehiculares ingresados se muestran a continuación en la Figura 33:

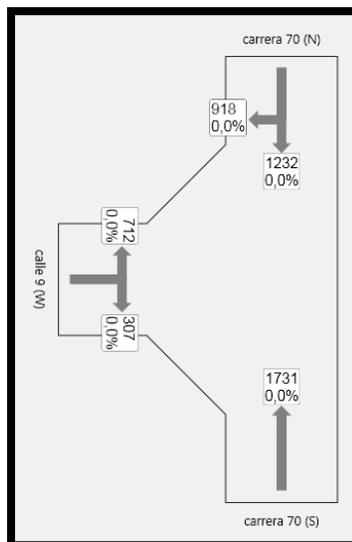


Figura 33. Volúmenes vehiculares (veq/h) ingresados en el software discriminados por acceso y maniobra para el escenario 2 con la proyección 1. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

3.3.2.2 Resultados de la simulación

Luego de procesar los datos ingresados en el software, se obtuvo un tiempo de ciclo de fases semafóricas de 70 segundos, la distribución de los tiempos en segundos para cada fase se muestra a continuación en la Tabla 24 .

Tabla 24. Tiempos de fases semafóricas para el escenario 2. (fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Phase	A	B
Green Time (sec)	41	21
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	1	1
Phase Time (sec)	45	25
Phase Split	64 %	36 %

En la Tabla 25, se muestra un resumen de los resultados por acceso y maniobra.

Tabla 25. Resumen de resultados por maniobra del escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1)

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles veh	Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
South: carrera 70 (S)											
5	T	1923	0,0	0,945	32,0	LOS C	40,0	264,2	0,99	1,07	27,1
Approach		1923	0,0	0,945	32,0	LOS C	40,0	264,2	0,99	1,07	27,1
North: carrera 70 (N)											
1	T	1433	0,0	0,683	8,7	LOS A	13,6	89,9	0,50	0,45	40,1
2	R	1031	0,0	0,692	1,8	LOS A	5,4	35,4	0,16	0,62	42,2
Approach		2464	0,0	0,692	5,8	LOS A	13,6	89,9	0,35	0,52	40,9
West: calle 9 (W)											
3	L	782	0,0	0,757	31,8	LOS C	14,4	94,7	0,94	0,87	26,8
4	R	349	0,0	0,456	6,5	LOS A	8,0	52,9	0,67	0,77	38,8
Approach		1131	0,0	0,757	24,1	LOS C	14,4	94,7	0,86	0,84	29,6
All Vehicles		5519	0,0	0,945	18,7	LOS B	40,0	264,2	0,68	0,78	32,6

A continuación en las Figura 2834 a la 38, se muestran esquemas de los resultados obtenidos para los volúmenes vehiculares, la capacidad vehicular, el grado de saturación, los tiempos de demora y el nivel de servicio.

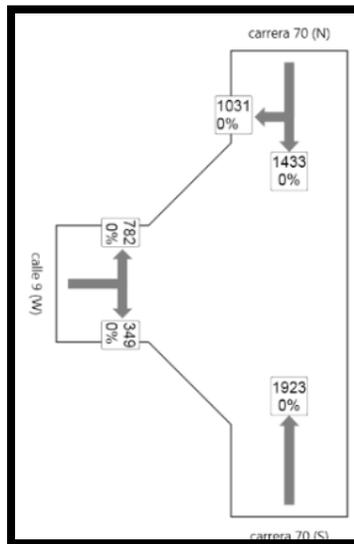


Figura 34. Volúmenes vehiculares (veq/h) reportados para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

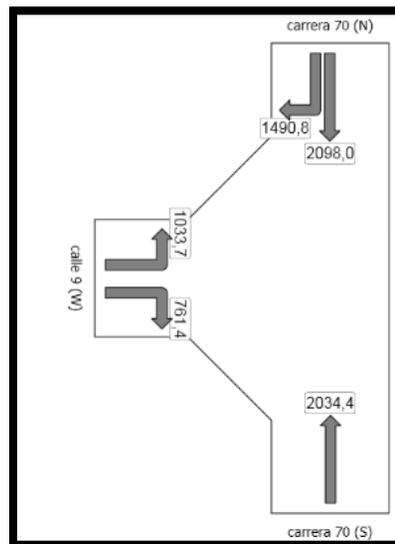


Figura 35. Capacidad en vehículos equivalentes (veq/h) por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

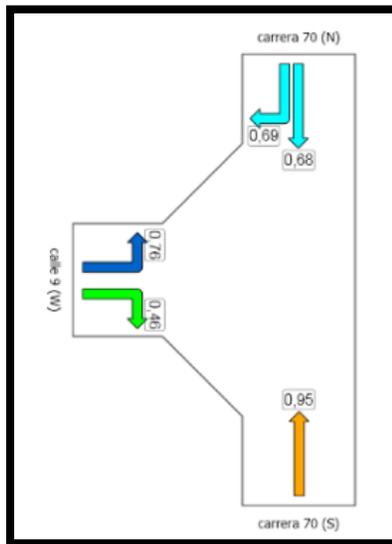


Figura 36. Grado de saturación por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTSERESECTION 5.1).

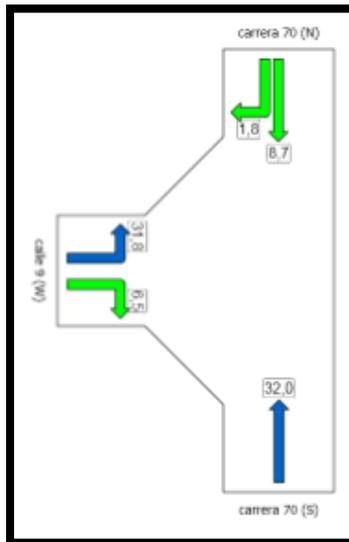


Figura 37. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERESECTION 5.1).

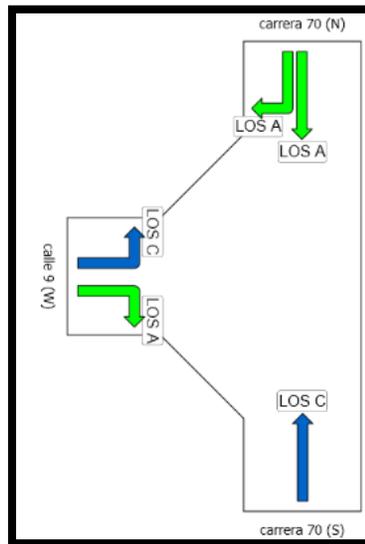


Figura 38. Nivel de servicio por maniobra para el escenario 2. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

3.3.3 Escenario 3

3.3.3.1 Datos de entrada

En la Tabla 26, se muestran los parámetros geométricos ingresados en el software para la construcción del modelo.

Tabla 26. Parámetros geométricos de la intersección para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Geometry - Approach & Exit Lane Data				
Lane Number	Lane Width m	Lane Length m	Grade %	SL Type
South carrera 70 (S)				
App. Lane 1	2,80	500,0	-1,00	-
App. Lane 2	2,80	500,0	-1,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	-7,00	-
App. Lane 4	3,50	500,0	-7,00	Turn Bay
App. Lane 5	3,50	500,0	-7,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 2	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 3	3,60	500,0	1,00	-
East Túnel (E)				
App. Lane 1	3,50	500,0	7,00	-
App. Lane 2	3,50	500,0	7,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	7,00	-
App. Lane 4	3,50	500,0	7,00	Turn Bay
App. Lane 5	3,50	500,0	7,00	Turn Bay
App. Lane 6	3,50	500,0	7,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,50	500,0	-7,00	-
Exit Lane 2	3,50	500,0	-7,00	-
Exit Lane 3	3,50	500,0	-7,00	-
North carrera 70 (N)				
App. Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 2	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 3	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 4	3,60	500,0	1,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,20	500,0	-1,00	-
Exit Lane 2	3,20	500,0	-1,00	-
Exit Lane 3	3,20	500,0	-1,00	-
West calle 9 (W)				
App. Lane 1	3,50	500,0	-1,00	-
App. Lane 2	3,50	500,0	-1,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	-1,00	Turn Bay
App. Lane 4	3,50	500,0	-1,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 2	3,60	500,0	1,00	-

En la Figura 39, se muestra el modelo de la intersección para el escenario base realizado en el software SIDRA INTERSECTION 5.1.

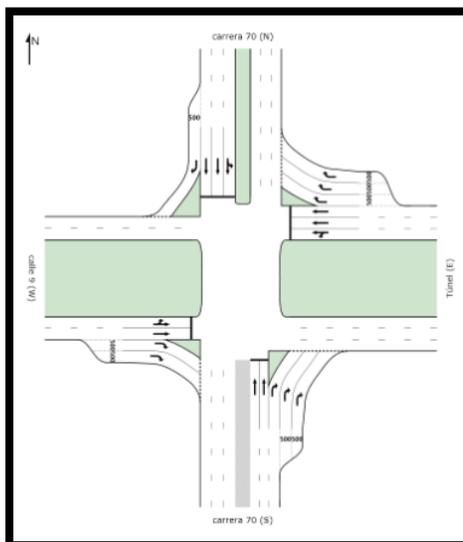


Figura 39. Modelo de la intersección para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

En la Figura 40, se indican las maniobras permitidas por acceso en la intersección. Las flechas color gris indican las maniobras que se encuentran controladas por semáforos y las moradas indican las maniobras que se encuentran controladas por una señal de ceda el paso.

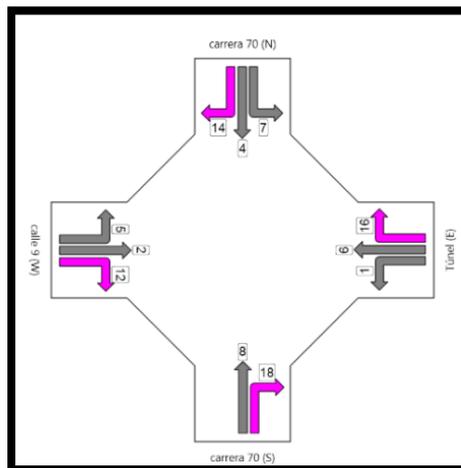


Figura 40. Identificación de maniobras escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

En la Figura 41, se muestran los volúmenes vehiculares (veq/h) ingresados en el software. El porcentaje mostrado 0,0% corresponde con el porcentaje de vehículos pesados, al ingresar los volúmenes en vehículos equivalentes estos ya están incluidos.

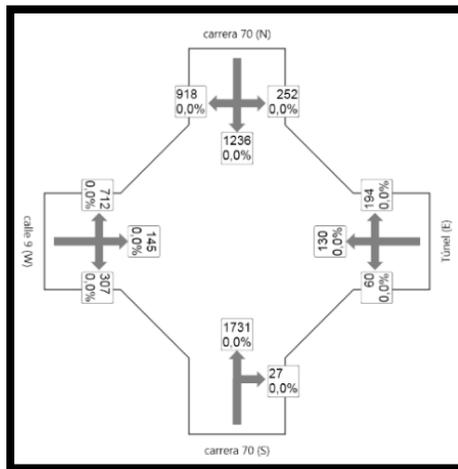


Figura 41. Volúmenes (veq/h) ingresados en el software discriminados por acceso y maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Para la construcción del modelo se definieron cuatro fases semafóricas A, B, C y D y los movimientos para cada una de estas, ver Figura 42 . Las flechas verdes indican el movimiento normal vehicular, las rojas corresponden con la detención de vehículos, las magenta y moradas a las maniobras controladas por la señal de ceda el paso.

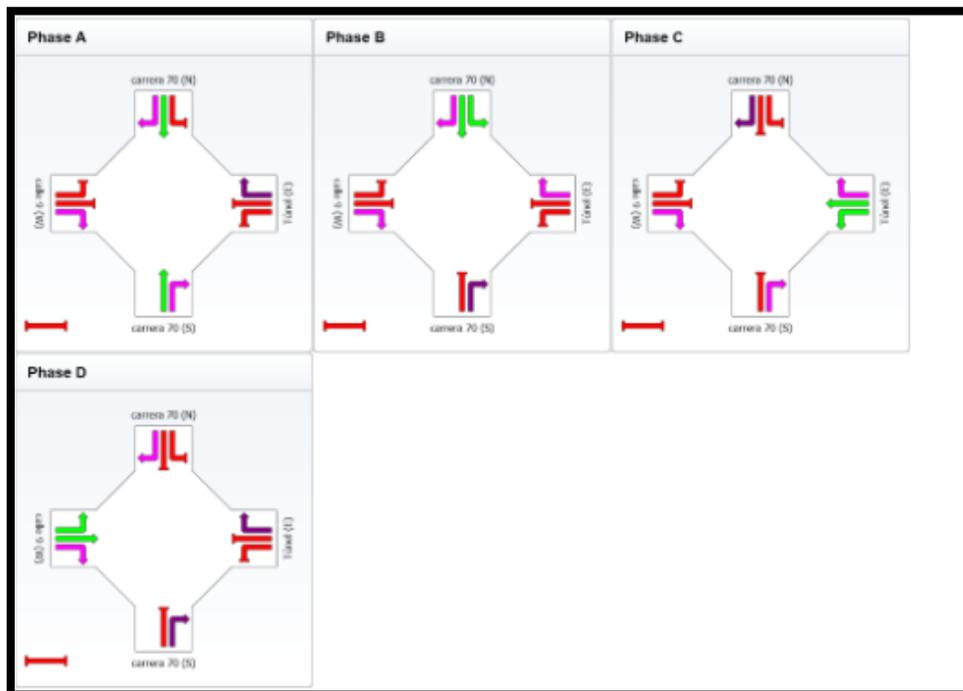


Figura 42. Esquema de fases semafóricas para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

3.3.3.2 Resultados de la simulación

Luego de procesar los datos ingresados en el software se obtuvo un tiempo de ciclo de fases semafóricas de 71 segundos. La distribución de los tiempos en segundos para cada fase se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Tiempos de fases semafóricas para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Phase	A	B	C	D
Green Time (sec)	20	10	10	15
Yellow Time (sec)	3	3	3	3
All-Red Time (sec)	1	1	1	1
Phase Time (sec)	24	14	14	19
Phase Split	34 %	20 %	20 %	27 %

En la Tabla 28 se muestra un resumen de los resultados por acceso y maniobra.

Tabla 28. Resumen de resultados por maniobra del escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles veh	Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
South: carrera 70 (S)											
8	T	1923	0,0	1,966	471,5	LOS F	132,1	872,0	1,00	3,08	4,0
18	R	30	0,0	0,009	2,9	LOS A	0,1	0,7	0,33	0,45	43,7
Approach		1954	0,0	1,966	464,3	LOS F	132,1	872,0	0,99	3,04	4,1
East: Túnel (E)											
1	L	67	0,0	0,402	33,6	LOS C	3,4	26,2	0,93	0,76	26,5
6	T	146	0,0	0,402	33,3	LOS C	3,6	27,0	0,92	0,71	26,6
16	R	218	0,0	0,116	13,0	LOS B	1,6	12,0	0,65	0,60	36,7
Approach		431	0,0	0,402	23,1	LOS C	3,6	27,0	0,78	0,66	31,0
North: carrera 70 (N)											
7	L	283	0,0	1,179	151,3	LOS F	21,4	141,5	1,00	1,43	10,9
4	T	1437	0,0	0,838	22,0	LOS C	23,6	155,8	0,82	0,81	31,4
14	R	1031	0,0	0,785	3,8	LOS A	8,1	53,6	0,21	0,63	41,0
Approach		2752	0,0	1,179	28,5	LOS C	23,6	155,8	0,61	0,81	28,2
West: calle 9 (W)											
5	L	782	0,0	2,150	559,2	LOS F	114,7	757,3	1,00	2,98	3,5
2	T	163	0,0	0,426	28,8	LOS C	5,5	36,1	0,89	0,72	28,4
12	R	349	0,0	0,116	0,3	LOS A	0,6	3,7	0,13	0,39	45,4
Approach		1294	0,0	2,150	341,8	LOS F	114,7	757,3	0,75	2,00	5,5
All Vehicles		6431	0,0	2,150	223,6	LOS F	132,1	872,0	0,77	1,72	7,8

A continuación en las Figura 2843 a la 47, se muestran esquemas de los resultados obtenidos para los volúmenes vehiculares, la capacidad vehicular, el grado de saturación, los tiempos de demora y el nivel de servicio.

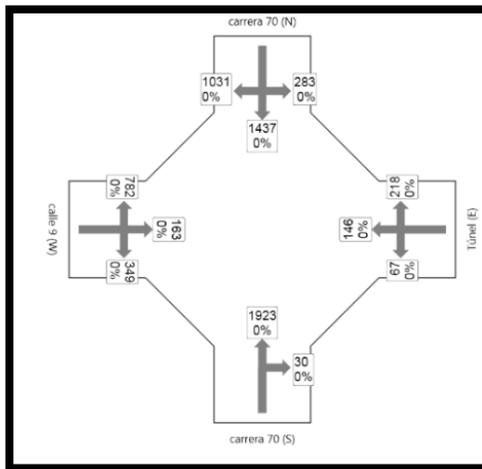


Figura 43. Volúmenes vehiculares (veq/h) reportados para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

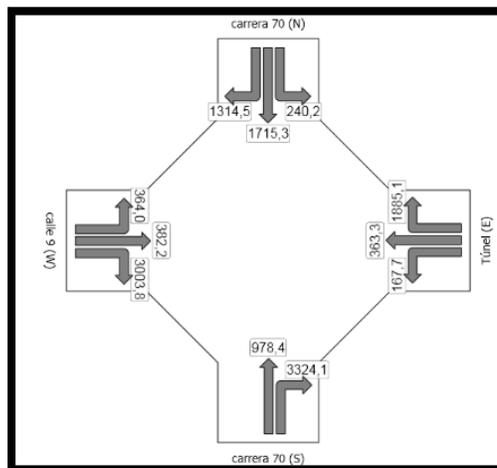


Figura 44. Capacidad en vehículos equivalentes (veq/h) por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

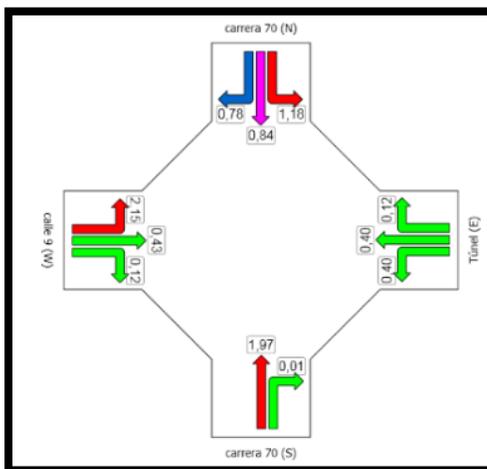


Figura 45. Grado de saturación por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTSERSECTION 5.1).

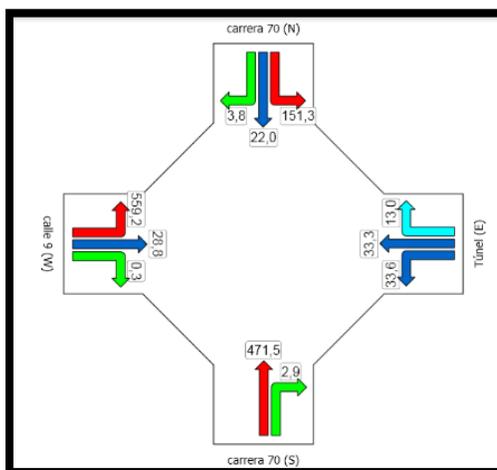


Figura 46. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

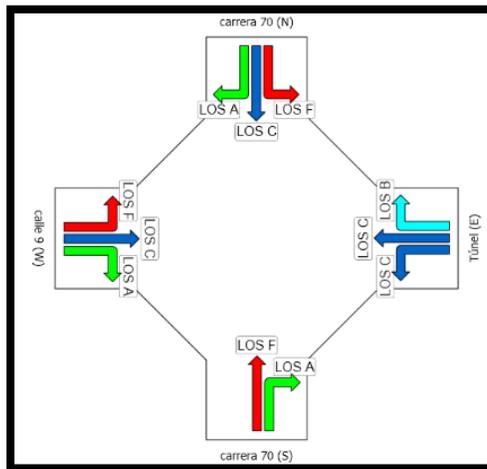


Figura 47. Nivel de servicio por maniobra para el escenario 3. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

3.3.4 Escenario 4

3.3.4.1 Datos de entrada

Los parámetros geométricos ingresados en el software para la construcción del modelo se muestran en Tabla 29.

Tabla 29. Parámetros geométricos de la intersección para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Geometry - Approach & Exit Lane Data				
Lane Number	Lane Width m	Lane Length m	Grade %	SL Type
South carrera 70 (S)				
App. Lane 1	2,80	500,0	-1,00	-
App. Lane 2	2,80	500,0	-1,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	-7,00	-
App. Lane 4	3,50	500,0	-7,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 2	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 3	3,60	500,0	1,00	-
East Túnel (E)				
App. Lane 1	3,50	500,0	7,00	-
App. Lane 2	3,50	500,0	7,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	7,00	Turn Bay
App. Lane 4	3,50	500,0	7,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,50	500,0	-7,00	-
Exit Lane 2	3,50	500,0	-7,00	-
North carrera 70 (N)				
App. Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 2	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 3	3,60	500,0	1,00	-
App. Lane 4	3,60	500,0	1,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,20	500,0	-1,00	-
Exit Lane 2	3,20	500,0	-1,00	-
Exit Lane 3	3,20	500,0	-1,00	-
West calle 9 (W)				
App. Lane 1	3,50	500,0	-1,00	-
App. Lane 2	3,50	500,0	-1,00	-
App. Lane 3	3,50	500,0	-1,00	Turn Bay
App. Lane 4	3,50	500,0	-1,00	Turn Bay
Exit Lane 1	3,60	500,0	1,00	-
Exit Lane 2	3,60	500,0	1,00	-

En la Figura 48, se muestra el modelo de la intersección para el escenario base realizado en el software SIDRA INTERSECTION 5.1.

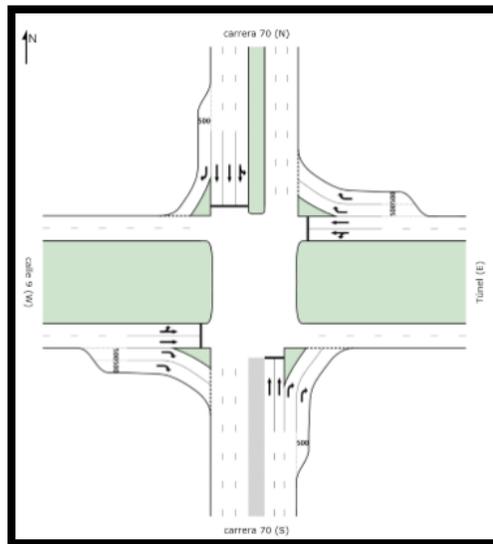


Figura 48. Modelo de la intersección para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Las maniobras permitidas, los volúmenes vehiculares y las fases semaforicas corresponden con los mismos datos del escenario 3 (ver numeral 3.3.3.1).

3.3.4.2 Resultados de la simulación

Luego de procesar los datos ingresados en el software, se obtuvo un tiempo de ciclo de fases semaforicas de 76 segundos, la distribución de los tiempos en segundos para cada fase, ver Tabla 30.

Tabla 30. Tiempos de fases semaforicas para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Phase	A	B	C	D
Green Time (sec)	20	10	10	20
Yellow Time (sec)	3	3	3	3
All-Red Time (sec)	1	1	1	1
Phase Time (sec)	24	14	14	24
Phase Split	32 %	18 %	18 %	32 %

En la Tabla 31 , se muestra un resumen de los resultados por acceso y maniobra.

Tabla 31. Resumen de resultados por maniobra del escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles veh	Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
South: carrera 70 (S)											
8	T	1923	0,0	2,104	536,7	LOS F	141,0	930,7	1,00	3,07	3,6
18	R	30	0,0	0,013	2,8	LOS A	0,2	1,0	0,31	0,43	44,0
Approach		1954	0,0	2,104	528,5	LOS F	141,0	930,7	0,99	3,03	3,6
East: Túnel (E)											
1	L	67	0,0	0,474	37,3	LOS D	4,2	31,8	0,95	0,77	25,2
6	T	146	0,0	0,474	37,6	LOS D	4,3	32,8	0,95	0,74	25,2
16	R	218	0,0	0,186	15,9	LOS B	2,7	20,8	0,69	0,63	35,2
Approach		431	0,0	0,474	26,6	LOS C	4,3	32,8	0,82	0,69	29,6
North: carrera 70 (N)											
7	L	283	0,0	1,262	187,6	LOS F	24,9	164,6	1,00	1,54	9,1
4	T	1437	0,0	0,897	31,4	LOS C	29,2	192,5	0,92	0,95	27,4
14	R	1031	0,0	0,786	3,9	LOS A	8,8	58,3	0,21	0,63	41,0
Approach		2752	0,0	1,262	37,1	LOS D	29,2	192,5	0,66	0,89	25,2
West: calle 9 (W)											
5	L	782	0,0	1,726	368,2	LOS F	98,6	650,8	1,00	2,63	5,1
2	T	163	0,0	0,342	26,3	LOS C	5,3	35,2	0,83	0,68	29,5
12	R	349	0,0	0,115	0,3	LOS A	0,6	3,7	0,12	0,39	45,5
Approach		1294	0,0	1,726	226,0	LOS F	98,6	650,8	0,74	1,78	7,9
All Vehicles		6431	0,0	2,104	223,7	LOS F	141,0	930,7	0,79	1,71	7,8

A continuación en las Figura 2849 a la 53, se muestran esquemas de los resultados obtenidos para los volúmenes vehiculares, la capacidad vehicular, el grado de saturación, los tiempos de demora y el nivel de servicio.

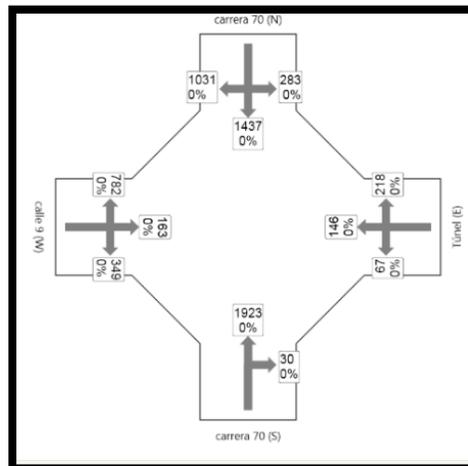


Figura 49. Volúmenes vehiculares (veq/h) reportados para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

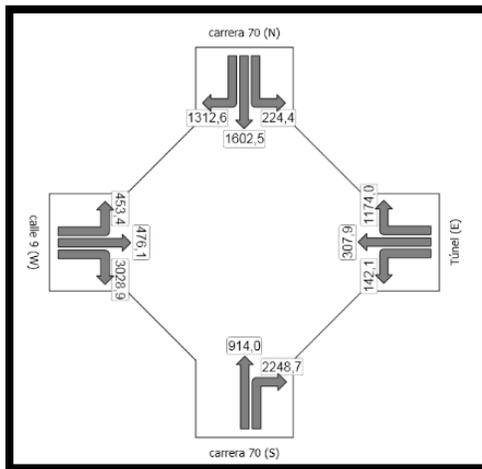


Figura 50. Capacidad en vehículos equivalentes (veq/h) por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTON 5.1).

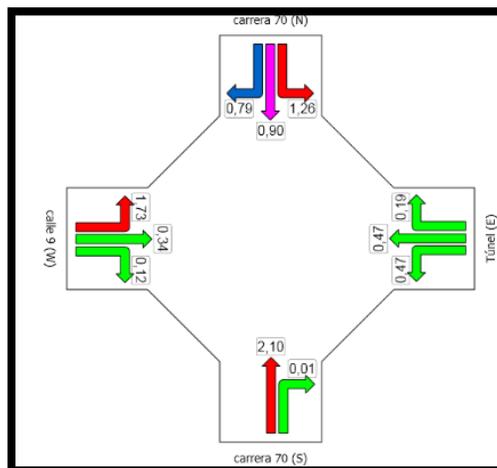


Figura 51. Grado de saturación por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTSERECTON 5.1).

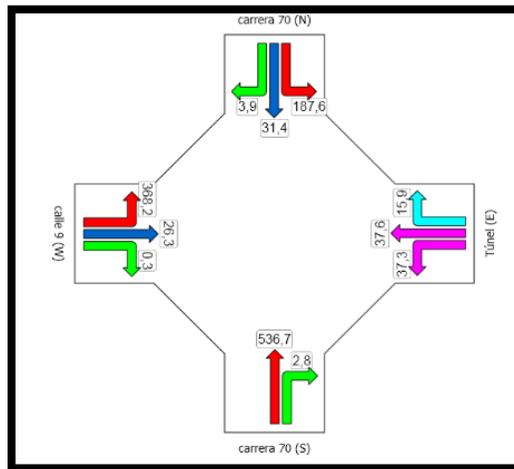


Figura 52. Promedio de tiempo de demora (segundos) por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

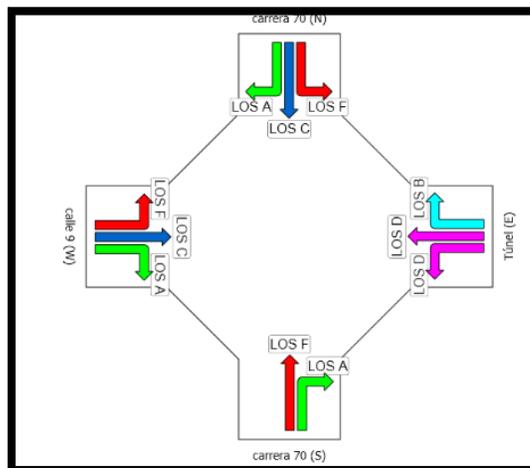


Figura 53. Nivel de servicio por maniobra para el escenario 4. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1).

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de resultados se enfocará principalmente en las siguientes variables:

- Volumen calculado
- Nivel de servicio (por acceso y maniobra)
- Grado de saturación
- Demora promedio

4.1 ESCENARIO 1 (BASE)

La Figura 54, muestra la variación porcentual entre los volúmenes vehiculares medidos y los simulados. El volumen total de la intersección presenta una variación del 11 %, el cual corresponde a un aumento de 320 vehículos, en donde la maniobra de mayor variación tiene lugar en el acceso norte con maniobra hacia el frente, con un 14 % o un aumento de 104 vehículos, y la maniobra con menor variación tiene lugar en el acceso occidental con maniobra a izquierda, con un 11 % o un aumento de 36 vehículos.

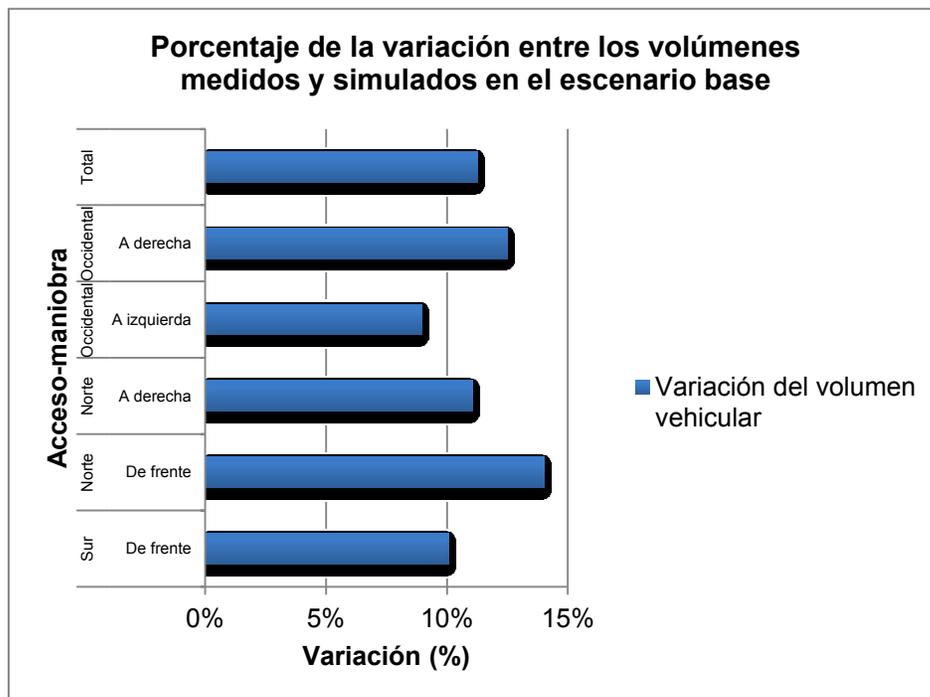


Figura 54. Porcentaje de variación entre los volúmenes vehiculares (veq/h) medidos y simulados.

A partir de los resultados del grado de saturación que se muestran en la Tabla 23, se tiene que la intersección presenta un grado de saturación de 0,629, lo cual indica que en la mayor parte del tiempo de operación permanece sin congestiones vehiculares. Lo anterior se explica porque el volumen de vehículos que transitan por la intersección es menor a su capacidad.

De acuerdo a la Tabla 23. Resumen de resultados por acceso y maniobra para el escenario base. (Fuente: SIDRA INTERSECTION 5.1)., se observa que en general la intersección presenta un nivel de servicio tipo "A", con un tiempo promedio de demora por vehículo de 6,6 segundos. La maniobra que presenta el nivel de servicio menos favorable es el giro a izquierda del acceso occidental, el cual es de tipo "B" con un tiempo de demora por vehículo de 11 segundos, situación que se explica por la dificultad de los vehículos para realizar la maniobra. Esto se debe a que los vehículos deben realizar una disminución de la velocidad de entrada a la intersección para poder realizar el giro de manera segura.

4.2 ESCENARIO 2

De igual manera al escenario 1, se conservan los porcentajes de variación entre los volúmenes ingresados y los simulados, Figura 54, como consecuencia de la similitud de los escenarios en cuanto a las condiciones geométricas y de tránsito.

A partir de los resultados del grado de saturación que se muestran en la Tabla 25, se tiene que la intersección presenta un grado de saturación de 0,945, lo cual indica que posiblemente la mayor parte del tiempo de operación exista una tendencia a generarse congestiones vehiculares. Lo anterior se explica porque el volumen de vehículos que transitan por la intersección se aproxima a su capacidad.

De acuerdo a la Tabla 25 se observa que en general la intersección presenta un nivel de servicio tipo "B", con un tiempo promedio de demora por vehículo de 18,7 segundos. La maniobra que presenta el nivel de servicio menos favorable es hacia el frente del acceso sur, el cual es de tipo "C" con un tiempo de demora por vehículo de 32 segundos, situación que se explica por el alto volumen vehicular que presenta este acceso y que además está próximo a sobrepasar su capacidad. Como consecuencia se tiene un promedio de velocidad bajo (27,1 km/h), relacionado con el tiempo de demora, y una longitud de cola larga (264 m).

En comparación con el escenario base el nivel de servicio para la intersección disminuye su desempeño con un cambio en su categoría de "A" a "B", con un aumento en el tiempo de demora de 12,1 segundos, un incremento en el grado de saturación del 33 % y aumento del 49 % del flujo vehicular.

4.3 ESCENARIO 3

A partir de los resultados del grado de saturación que se muestran en la Tabla 28, se tiene que la intersección presenta un grado de saturación de 2,150, esto debido a las

nuevas maniobras que se incluyen en la intersección para acceder al deprimido, lo cual afecta significativamente las maniobras hacia el frente del acceso sur y a izquierda del acceso norte. Lo anterior se explica porque la capacidad del acceso sur ha sido sobrepasada totalmente, con un grado de saturación de 1,966. Adicionalmente, la dificultad presentada por el acceso sur trae como consecuencia la obstrucción de las maniobras a izquierda del acceso norte y occidental.

De acuerdo a la Tabla 28 se observa que en general la intersección presenta un nivel de servicio tipo "F", con un tiempo promedio de demora por vehículo de 223,6 segundos. La maniobra que presenta el nivel de servicio menos favorable es hacia la izquierda del acceso occidental, el cual es de tipo "F" con un tiempo de demora por vehículo de 559,2 segundos, situación que se explica por lo descrito en cuanto al grado de saturación presente en la intersección. Como consecuencia se tiene un promedio de velocidad bajo (3,5 km/h), relacionado con el tiempo de demora, y una longitud de cola larga (753,3 m).

4.4 ESCENARIO 4

A partir de los resultados del grado de saturación que se muestran en la Tabla 31, se tiene que la intersección presenta un grado de saturación de 2,104, esto debido a las nuevas maniobras que se incluyen en la intersección para acceder al deprimido, lo cual afecta significativamente las maniobras hacia el frente del acceso sur y a izquierda del acceso norte. Lo anterior se explica porque la capacidad del acceso sur ha sido sobrepasada totalmente, con un grado de saturación de 2,104. Adicionalmente, la dificultad presentada por el acceso sur trae como consecuencia la obstrucción de las maniobras a izquierda del acceso norte y occidental.

De acuerdo a la Tabla 31 se observa que en general la intersección presenta un nivel de servicio tipo "F", con un tiempo promedio de demora por vehículo de 223,7 segundos. La maniobra que presenta el nivel de servicio menos favorable es hacia el frente del acceso sur, el cual es de tipo "F" con un tiempo de demora por vehículo de 536,7 segundos, situación que se explica por lo descrito en cuanto al grado de saturación presente en la intersección. Como consecuencia se tiene un promedio de velocidad bajo (3,6 km/h), relacionado con el tiempo de demora, y una longitud de cola larga (930,7 m).

De acuerdo a estos resultados se identifica que las dimensiones de la sección del acceso oriental al deprimido no cambiarán notablemente el comportamiento del flujo vehicular dentro de la intersección, por lo cual la suposición realizada inicialmente sobre el sobredimensionamiento no es válida.

5 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- **Conclusiones a partir de los resultados de las simulaciones**

- **Escenario base**

- ✓ Actualmente la intersección está teniendo un comportamiento que garantiza el flujo normal de los vehículos dentro de ella, es decir, bajo la situación existente no se presentan congestiones y los vehículos pueden sobrepasarla en corto tiempo. Sin embargo, se recomienda que se realicen modificaciones en cuanto a la configuración geométrica del separador del acceso norte mediante la prolongación de este hasta el separador central de la intersección. Esto con el fin de bloquear permanentemente las maniobras no permitidas y garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de la intersección.
- ✓ En cuanto a la capacidad se puede inferir que no es necesario, por ahora, modificaciones de los anchos de carril de los accesos o la modificación de los tiempos en verde de las fases semafóricas.

- **Escenario 2**

- ✓ Para el año 2020 la intersección seguirá con un buen nivel de servicio que puede garantizar el flujo normal de los vehículos, sin embargo se presenta un problema de capacidad en el acceso sur como consecuencia del ancho de carril que este tiene, por lo cual se recomienda realizar una ampliación de la calzada.

- ✓

- **Escenario 3**

- ✓ Para el año 2020 la intersección no estaría funcionando correctamente y estaría ante un inminente colapso el flujo vehicular que por ella transita. Además, los problemas generados por esta intersección desencadenarían una serie de efectos secundarios en la movilidad del sector, tales como el congestionamiento de intersecciones aledañas y algunas vías colectoras y locales.
- ✓ Como posible solución se plantea el ensanchamiento de la calle 9 (laterales de la quebrada la Guayabala) en conjunto con un paso a desnivel en la carrera 70, con el fin de evitar el cruce entre esta vía arteria y el nuevo corredor vial que se generaría con la calle 9, el deprimido y la calle 10.

- **Escenario 4**
 - ✓ Se comprueba que el comportamiento de la intersección no estaría determinado por las dimensiones de la sección del acceso oriental hacia el deprimido, por lo cual se infiere nuevamente que el cruce entre la carrera 70 y la calle 9 no podría tener un buen funcionamiento a menos que se realicen modificaciones de infraestructura, como las mencionadas para el escenario 3.
- **Acerca de la modelación**
 - Gran parte de la etapa de la definición del modelo radica en la definición del problema y el alcance que se pretende dar con el trabajo en desarrollo. Es por esto que se debe tener claridad en cuanto al tamaño del área, las condiciones locales, el problema actual y los posibles en un futuro y las situaciones deseadas, con el fin de dar lugar a una acertada definición del tipo de modelo que debe ser utilizado para representar la situación existente planteada.
 - En cuanto a la selección del software se deben explorar diferentes opciones presentes en el mercado y seleccionar aquella que se ajuste al objetivos buscado, es decir, en nuestro la selección del software radicó en las ventajas en cuanto a la evaluación de intersecciones viales y la metodología propia de análisis en cuanto a la estimación de diferentes parámetros del comportamiento del flujo vehicular. Es por esto que la selección del software es una etapa crucial para el desarrollo de la modelación.
 - Como se mencionó durante el desarrollo del trabajo, definir previamente al inicio de los trabajos de toma de información que variables de salida serán necesarias para el análisis final del comportamiento de la intersección, también facilita el proceso de selección del software.
 - Durante el procedimiento de calibración del modelo no sólo es necesario la medición de los parámetros y el ajuste de ellos a las condiciones trabajadas sino que es importante consultar con profesionales expertos y con experiencia en el campo de la modelación de tránsito, con el fin de obtener referencias externas que puedan mejorar la evaluación del modelo que se está ejecutando. La experiencia de estos profesionales permite corroborar los resultados y las suposiciones realizadas.
- **Acerca del trabajo de campo**
 - Es esencial tener un conocimiento previo en cuanto a las características del tránsito como las maniobras, dispositivos de regulación y posibles eventos atípicos que puedan alterar el comportamiento normal del sector o los puntos en los cuales se desean realizar los conteos vehiculares, con el fin de evitar confusiones o valores errados durante la ejecución y así obtener resultados bastante cercanos al volumen vehicular real que está circulando.

- Se debe preparar previamente un plan logístico de la organización del personal de aforo y coordinar en conjunto la distribución de los puntos y tipos de vehículos que serán contados. Esto acompañado de una plantilla de conteo sencilla y que no dé lugar a confusiones, garantizará buenos resultados durante el procesamiento y análisis de la información obtenida.
- La información obtenida en campo debe ser corroborada con documentos técnicos oficiales y válidos, como manuales de diseño y normas internacionales, con el objeto de verificar las condiciones de diseño actuales y poder dar lugar a modificaciones, en caso de ser necesario, a situaciones inadecuadas existentes.
- La preparación de la información obtenida en campo debe ser clara y ordenada, con la finalidad de no generar reprocesos durante la etapa de procesamiento y análisis de la información primaria. Esta recomendación también puede aplicar en el caso de la recolección de la información secundaria.
- La información secundaria obtenida debe ser de fuentes confiables, es decir, en la medida de lo posible consultar en primera instancia las fuentes locales de entidades de carácter público responsables de la regulación del tema en el que se esté investigando.

BIBLIOGRAFÍA

- Aerónautica Civil de Colombia. (n.d.). *Aerónautica Civil de Colombia*. Retrieved 2012 йил 25-Agosto from <http://www.aerocivil.gov.co/Aerocivil/NEntidad/Paginas/Funciones.aspx>
- Akcelik & Associates Pty Ltd. (Abril de 2011). *SIDRA INTERSECTION USER GUIDE*. Greythorn, Australia.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (n.d.). *Areadigital*. Retrieved 2012 йил 25-Agosto from <http://www.areadigital.gov.co/institucional/Paginas/Presentación.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (s.f.). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad para la región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín, Colombia.
- Cal y Mayor R., R., & Cárdenas G., J. (1998). *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones*. Bogotá: Alfaomega S. A.
- Instituto Nacional de Vías. (n.d.). Retrieved 2012 йил 25-Agosto from http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallG/home_1/recursos/informacion_institucional/contenidos/20122007/funciones.jsp
- Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá, Colombia.
- Llopís, J. D. (Febrero de 2012). *Análisis de los sistemas de velocidad variable*.
- MEDELLÍN CÓMO VAMOS. (2012). *MEDELLÍN CÓMO VAMOS*. Recuperado el 12 de Octubre de 2012, de <http://medellincomovamos.org/movilidad-y-espacio-p-blico>
- Suárez, L. A. (2007). *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación*. 20-30. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. United States.

ANEXOS

Anexo 1. Resumen del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle Aburrá

- **Generalidades**

Tiene como finalidad la identificación de los requerimientos de movilidad de la Región Metropolitana al año 2020. Mediante este se establecen las políticas, las acciones, los programas, los proyectos y las inversiones, que definen un sistema de planeamiento continuo e integral, permitiendo así mejorar la calidad de vida y lograr aumentar la competitividad de la Región Metropolitana.

- **Objetivos**

- Apoyar y sostener el desarrollo económico mediante la integración regional y el posicionamiento del Valle de Aburrá en el contexto nacional e internacional.
- Apoyar y sostener el desarrollo social y humano, la integración social, para contribuir a la calidad de vida y a la salud de la población.
- Propender para que el sistema de transporte del Valle de Aburrá sea de bajo costo, eficiente, utilice racionalmente los recursos, equitativo y sostenible ambientalmente.
- Propender para que el sistema de transporte del Valle de Aburrá sea rápido, confiable, de calidad y seguro.
- Contribuir a la gobernabilidad

- **Estructura**

Se definen 7 líneas estratégicas (programas) con el fin de cumplir los objetivos descritos anteriormente. En la Figura 55, se muestra un esquema de los programas y su interrelación.

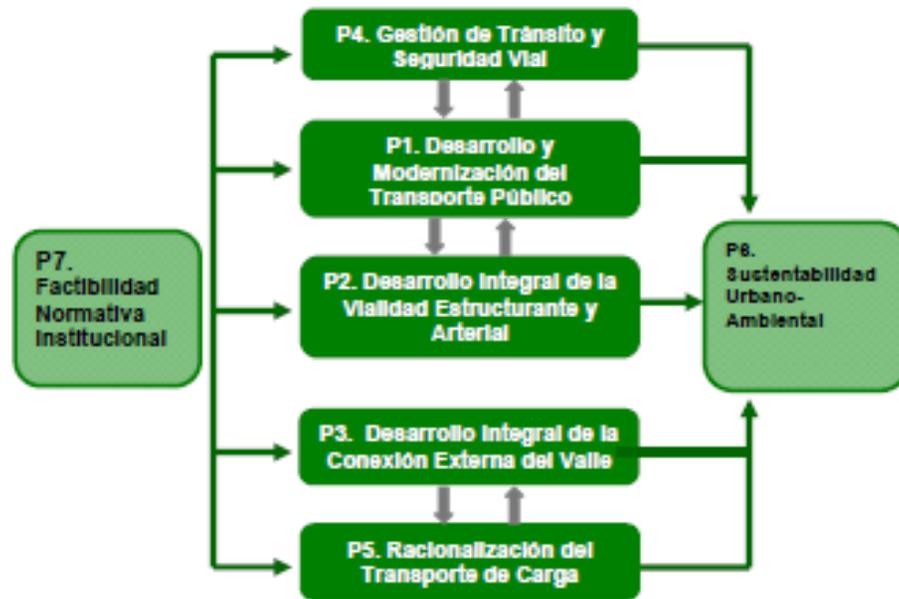


Figura 55. Programas del PMMVA. [Fuente: Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá]

- **Metodología**

Este estudio comprendió la construcción y calibración de un modelo Clásico de Transporte de Cuatro Etapas (Generación y Atracción de Viajes, Distribución, Participación Modal, y Asignación de viajes a las redes), a partir de la información recolectada, donde se destaca a nivel de demanda de viajes, la Encuesta Origen Destino realizada por la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín en el año 2005.

A través del modelo del transporte calibrado se realizó una simulación donde se incluyeron diferentes proyectos. Esta se realizó bajo dos escenarios de usos del suelo; tendencial y optimista, el primero mantiene los crecimientos económicos experimentados por la región en los últimos años y el otro contempla mejores expectativas económicas.

Los proyectos simulados, fueron clasificados en planes de proyectos:

- Plan 1: plan de costo menor con el escenario tendencial.
- Plan 2: plan de costo mayor con el escenario optimista para la región en el largo plazo (2016-020).
- Plan 3: plan que analiza los proyectos simulados en los planes 1 y 2, se seleccionan los proyectos que presentan las mayores demandas y los años de corte en que se realizan bajo el escenario tendencial.

- Plan 4: contempla modificaciones de los proyectos Metroplús y Metro.
- Plan 5: construido a partir de la simulación de los Planes 1, 2, 3 y 4.
- Plan 5 Optimizado: considera cambios en los planes anteriores de parámetros del modelo, codificaciones de la red y características de los servicios de transporte público.

Finalmente se identificó el plan que entrego los mayores beneficios de transporte, sometiéndolo a una evaluación integral donde se definieron diferentes formas de materializarlo con alternativas tecnológicas y financieras.

A continuación en la Figura 56 y Figura 57 se muestra un resumen de la metodología implementada en la elaboración del estudio mencionado.

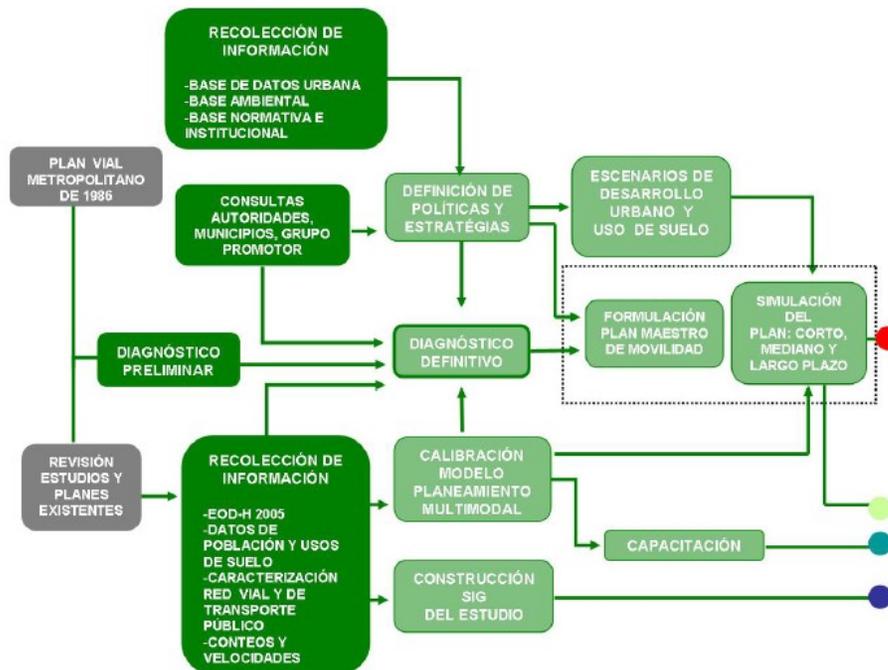


Figura 56. Diagrama de la metodología utilizada en el PMMVA (Parte A). [Fuente: Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá]

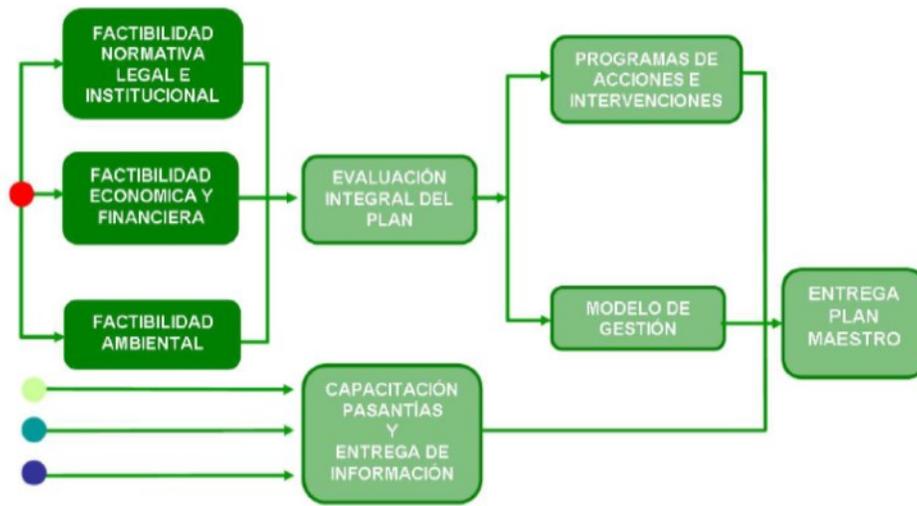


Figura 57. Diagrama de la metodología utilizada en el PMMVA (Parte B). [Fuente: Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá].



ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

ACTA DE EVALUACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Fecha: (dd/mm/aa)	19 de noviembre de 2012						
Nombre del proyecto:	Evaluación del flujo vehicular en la intersección de la carrera 70 con la calle 9 por la construcción de una vía subterránea en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera.						
Director del proyecto:	Sandra Lucía Ruíz Arbeláez						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre del estudiante</th> <th>Programa académico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catalina Blair Sierra</td> <td>Ingeniería Civil</td> </tr> <tr> <td>Daniel Alejandro Guevara A.</td> <td>Ingeniería Civil</td> </tr> </tbody> </table>		Nombre del estudiante	Programa académico	Catalina Blair Sierra	Ingeniería Civil	Daniel Alejandro Guevara A.	Ingeniería Civil
Nombre del estudiante	Programa académico						
Catalina Blair Sierra	Ingeniería Civil						
Daniel Alejandro Guevara A.	Ingeniería Civil						
Nombre del Jurado:	Mara del Pilar Duque, Manuel Buites						
Evaluación del proyecto: Espacio exclusivo para jurado							
<input type="checkbox"/> No aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado sin mención <input type="checkbox"/> con Mención Pública <input type="checkbox"/> con Mención honorífica <input type="checkbox"/> Trabajo laureado							
Justificación del reconocimiento: (Artículo 28 del Acuerdo 11: "El director del Programa presentará el acta final de evaluación al Consejo Académico, donde consta la solicitud de mención especial debidamente justificada y el Consejo determinará si se otorga o no"). La justificación debe tener mínimo 500 palabras.							

DIRECTOR DEL PROGRAMA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

JURADO (Si lo hubo)

JURADO (Si lo hubo)