

**PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN A LA CONGESTION VEHICULAR EN LA
INTERSECCION DE LACALLE 53 CON AV. CARACAS, BOGOTÁ D.C.**

**JONATHAN WILMER CASALLAS JUNCA
DIANA CAROLINA SEGURA GUEVARA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C
2016**

**PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN A LA CONGESTION VEHICULAR EN LA
INTERSECCION DE LA CALLE 53 CON AV. CARACAS,BOGOTÁD.C.**

**JONATHAN WILMER CASALLAS JUNCA
DIANA CAROLINA SEGURA GUEVARA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Civil**

**MSc. Ing. Daniela Rodríguez
Asesor Disciplinar**

**Mg. Lic. Roy Morales
Asesor Metodológico**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C
2016**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	15
3.1. OBJETIVO GENERAL	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. ANTECEDENTES	16
5. MARCO REFERENCIAL	21
5.1. MARCO CONCEPTUAL	21
5.1.2. Factor de hora pico	22
5.1.3. Determinación de grupo de carriles (GC)	23
5.1.4. Flujo de Saturación	25
5.1.5. Capacidad vial	30
5.1.6. Nivel de servicio	31
5.1.7. Señalización	35
5.1.8. Intersecciones	37
5.2. MARGO GEOGRÁFICO	45
5.3. MARCO LEGAL	46
6. DISEÑO METODOLOGICO	47
6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	47
6.2. TIPO DE INVESTIGACION	47
6.3. FASES DE LA INVESTIGACION	47
7. RESULTADO Y ANALISIS	49
7.1. NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN	49
7.1.1. Caracterizar la zona de estudio	49
7.1.2. Inventario de señalización	52
7.1.3. Aforos vehiculares, ciclos y tiempos semafóricos	62
7.1.4. Capacidad de la intersección actualmente	73
7.1.5. Nivel de servicio de la intersección actual	85
7.2. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	86

7.2.2. Graficas de las alternativas de solución	86
7.2.2.2. Deprimido	87
7.2.2.2. Puente exclusivo Transmilenio.....	88
7.2.1. Ventajas y desventajas de cada una de las soluciones	89
7.2.1.1. Ciclo semafórico	89
7.2.1.2. Deprimido	91
7.2.1.2. Puente exclusivo Transmilenio.....	92
7.3. MODELACION A PARTIR DE LA MEJOR ALTERNATIVA.....	96
7.3.1. MODELACION	96
7.3.2. MODELACIÓN DE ESTADO ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN.....	96
7.3.4. Evaluación de la capacidad y nivel de servicio	102
8. CONCLUSIONES.....	111
9. RECOMENDACIÓN	112
10. BIBLIOGRAFIA.....	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Posibilidades de agrupamiento de carriles.....	24
Tabla 2. Factor de ajuste por unidad de carril.....	25
Tabla 3. Factores de utilización de carril recomendados por la HCM-2010 para análisis de intersecciones	27
Tabla 4. Nivel de servicio	31
Tabla 5. Determinación de nivel de servicio	34
Tabla 6. Señalización horizontal en la zona de estudio	36
Tabla 7. Señalización vertical en la zona de estudio	37
Tabla 8. Accesos, Movimientos y códigos en una intersección	39
Tabla 9. Movimientos permitidos en la intersección.....	57
Tabla 10. Movimientos de la intersección con los ciclos semafóricos.....	60
Tabla 11. Formato de aforo vehicular para la intersección	64
Tabla 12. Volúmenes vehiculares de la intersección objeto de estudio	66
Tabla 13. Cantidad de vehículos que transitan por movimiento en hora pico.....	69
Tabla 14. Composición vehicular hora pico	71
Tabla 15. Determinación del factor de hora pico en el periodo de hora crítica	72
Tabla 16. Parámetros requeridos para el análisis de operación en una intersección	74
Tabla 17. Determinación de grupo carril por movimientos.....	76
Tabla 18. Volúmenes vehiculares por grupo de carriles	78
Tabla 19. Porcentaje de camiones y Transmilenio en la intersección.....	79
Tabla 20. Factor de ajuste por ancho de carril (Fw) y pendiente (Fg).....	79
Tabla 21. Factor de existencia de carril, de ajuste por buses y por área para la intersección.....	80
Tabla 22. Factor de ajuste por movimiento a la derecha e izquierda para ciclistas y peatones	80
Tabla 23. Factores de ajuste por giro a la derecha e izquierda para los vehículos y factor de ajuste por utilización de carril.....	81
Tabla 24. Saturación por grupo carril en la intersección.....	81
Tabla 25. Información semafórica por grupo carril.....	82
Tabla 26. Demoras y nivel de servicio de los grupos de carril e intersección	84
Tabla 27. Proyección de volúmenes para los grupos de carriles.....	103
Tabla 28. Situación de la intersección en 20 años sin aplicar alternativa	104
Tabla 29. Volúmenes vehiculares para el movimiento 4.....	106
Tabla 30. Situación de la intersección actual con carril exclusivo de SITP en sentido Oriente-occidente.....	109

Tabla 31. Situación de la intersección en 20 años sin aplicar alternativa109

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1. Porcentaje de volúmenes vehiculares por movimientos.....	66
Grafico 2. Porcentaje total de vehículos en la intersección.....	67
Grafico 3. Composición vehicular por movimientos totales.....	68
Grafico 4. Variación horario volúmenes vehiculares en la intersección	68
Grafico 5. Porcentaje vehicular periodo hora pico	70
Grafico 6. Composición vehicular en hora pico.....	71
Grafico 7. Volúmenes vehiculares por grupo carril	77
Grafico 8. Volúmenes vehiculares, capacidad actual de la intersección	83
Grafico 9. Relación critica de volumen vs capacidad por grupo de carril	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y número de caras en intersecciones de calles de doble sentido con separador.....	22
Figura 2. Tipos de carriles en una intersección	24
Figura 3. Resumen tipológico de intersecciones.....	38
Figura 4. Movimientos en una intersección.....	39
Figura 5. Paso inferior.....	41
Figura 6. Paso superior.....	41
Figura 7. Ejemplo de una intersección de mediana con giro en U.....	42
Figura 8. Ejemplos de mini-rotondas simples	43
Figura 9. Mini-rotonda en una intersección.....	44
Figura 10. Localización de la intersección de estudio.....	45
Figura 11. Intersección tipo cruz.....	50
Figura 12. Intersección de estudio	51
Figura 13. Señalización vertical en la intersección	56
Figura 14. Señalización Horizontal en la intersección.....	56
Figura 15. Movimientos en la intersección	57
Figura 16. Puntos de conflicto en la intersección.....	58
Figura 17. Semaforización en la intersección	60
Figura 18. Fases de la intersección	62
Figura 19. Formato de aforo vehicular utilizado en la intersección.	63
Figura 20. Composición vehicular en hora pico (6:45-7:45a.m).....	72
Figura 21. División de Grupos Carriles en la intersección	75
Figura 22. Volúmenes vehiculares por grupo carril.....	77
Figura 23. Ciclo óptimo posible para la intersección.....	86
Figura 24. Deprimido exclusivo para carril de Transmilenio	87
Figura 25. Volúmenes vehiculares en hora pico situación actual.....	96
Figura 26. Nivel de servicio en la intersección actualmente	97
Figura 27. Tiempos semafóricos en la intersección actualmente.....	98
Figura 28. Modelación de la intersección actual con volúmenes	99
Figura 29. Modelación de la intersección con cola para el GC 3 (mov 3)	99
Figura 30. Modelación puente Transmilenio	100
Figura 31. Modelación de paso a nivel en la intersección.....	101
Figura 32. Nivel de servicio de la intersección alternativa paso a nivel	102
Figura 33. Alternativa puente proyectada a 20 años.....	105
Figura 34. Modelación del carril exclusivo del SITP en el movimiento 4 con sus volúmenes	106

Figura 35. Nivel de servicio de la intersección	107
Figura 36. Modelación vehicular con el carril exclusivo para SITP	108
Figura 37. Modelación en 3D para carril exclusivo de Transmilenio (situación actual)	108
Figura 38. Alternativa carril exclusivo para buses del SITP proyectada a 20 años	110

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de estudio se refiere a la solución de la congestión vehicular que se presenta en la intersección de la calle 53 con Av. Caracas en la ciudad de Bogotá, ya que por causa de aumento en el parque automotor y poblacional de ha venido afectando la movilización en la ciudad.

En este documento se identificó el problema mediante la recopilación de datos tomados in situ para describir el comportamiento tanto a nivel de servicio, capacidad, puntos críticos y características como señalización, semaforización y tiempos semafóricos de la intersección que se presentan en la actualidad.

Se hace el análisis correspondiente con respecto a la información recopilada para determinar mediante una modelación en software especializado en tránsito y mediante variables dadas por el manual de la HCM -2010 (HighwayCapacity Manual), para llegar a una solución plausible que permita mejorar la congestión vehicular que se presenta en la intersección

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Bogotá, durante los últimos años se ha visto un incremento el parque automotor, sea en el sector particular o público y según cifras del año 2014, aproximadamente se encuentran registrados dos (2) millones de vehículos en la ciudad. En el sector automotor reporto un incremento de compra de vehículo del 11% con respecto al 2013 y es una de las cifras más altas registradas en los últimos 5 años¹, lo cual se explica principalmente por el crecimiento poblacional, económico y territorial de la ciudad. Esto conlleva a que la saturación y congestión vehicular se vea reflejada en las vías principales.

Un factor importante que se debe tener en cuenta para que haya fluidez vehicular es un buen estado de la malla vial; en Bogotá hay alrededor de 15549,5 Km/carril; 8285,9 Km/carril son de malla vial local, de los cuales 4661,6 Km/carril está en mal estado, 3548,4 Km/carril son de malla vial intermedia, de los cuales 1063,8 Km/carril están en mal estado, 3715,2 Km/carril son de malla vial arterial principal y complementaria, de los cuales 463,2 Km/carril están en mal estado². La falta de planeación y demoras en las obras públicas, reparcho de vías y obstaculización de material por construcciones, siendo estas las causas que aportan a la saturación en intersecciones y en corredores viales.

Esta problemática genera consecuencias como el aumento en los tiempos de viajes, además a esta problemática se le puede agregar las demoras en los tiempos de espera por las semaforizaciones en las intersecciones donde hay más de dos ciclos semafóricos, lo cual no contribuye a la competitividad de la ciudad.

Con respecto a los factores mencionados anteriormente, el problema que sobresale en las intersecciones es el tiempo de demora en los ciclos semafóricos

¹ SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Movilidad en cifras 2014, Bogotá: 2014.p.6.

²Ibid., p. 67-69.

y reducción de velocidad, generando congestión vehicular hasta el punto de saturar las intersecciones.

Por ejemplo, la intersección de la calle 53 con Av. Caracas, es un punto crítico ya que la congestión vehicular genera saturación en la misma, además los vehículos de uso público tales como los taxis realizan parqueos indebidos, además los tiempos de espera se ven afectados por tiempo de prioridad al sistema de transporte Transmilenio, todo recae en especial al sentido occidente-oriente donde el giro tanto a la derecha como la a izquierda está prohibido, todos estos factores generan cuestiones y es allí donde se deben buscar soluciones adecuadas que puedan mejorar el nivel de servicio, por lo anterior surge el siguiente cuestionamiento. ¿Cómo mejorar el nivel de servicio de la intersección de la calle 53 con Av. Caracas en Bogotá D.C?

2. JUSTIFICACIÓN

El transporte es un factor esencial para la movilización de la ciudad debido a que es una necesidad importante para el comercio y el desarrollo social. La movilización ha tenido cambios que no favorecen la competitividad de la ciudad generando una demanda, esta demanda depende de la localidad y el número de vehículos que transitan por el sector, aumentando la congestión vehicular y peatonal creando un conflicto en las intersecciones semaforizadas. Caso tal a estudiar en la intersección de la calle 53 con Av. Caracas, donde se presenta saturación.

Es aquí donde la ingeniería toma un gran papel realizando los estudios, planificación, diseño, y operación de tráfico en vías principales de la ciudad, mediante el conocimiento adquirido y medios tecnológicos (software), entablado soluciones adecuadas, teniendo en cuenta la factibilidad del mismo con componentes como costos, infraestructura y tiempos de operación.

Es importante la realización de una buena investigación y para ello es necesario fijar los criterios básicos y los requisitos mínimos que se deben reunir para buscar ciertas técnicas de diseño, procesos de conceptualización, los cuales ayuden para implementar nuevas técnicas; de igual forma que garantice la seguridad, calidad, eficiencia y funcionabilidad, y así poder realizar el diseño más factible con buenas herramientas que permitan un mejoramiento de la movilidad en Bogotá.

De acuerdo con el problema como lo es la congestión y la saturación en la intersección estudiada, las características y variables que presentan en la problemática, se quiere llegar a una óptima solución que permita una modelación estructural y un cambio en el flujo vehicular, disminuyendo la congestión y evitando la saturación en la intersección de la calle 53 con carrera 14 (Avenida Caracas).

Por consiguiente, esta investigación propone alternativas de solución que ayuden el mejoramiento de la congestión y saturación vehicular que se presenta actualmente en la intersección de estudio en la calle 53 con av. Caracas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer una alternativa de solución que permita mitigar el problema de congestión vehicular en la intersección de la calle 53 con Av. Caracas, Bogotá D.C.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Determinar la capacidad y el nivel de servicio actual de la intersección estudiada.

3.2.2. Analizar alternativas de solución para la intersección de estudio.

3.2.3. Evaluar la capacidad y nivel de servicio de las alternativas seleccionadas a partir de los datos actuales y de la proyección a 20 años.

4. ANTECEDENTES

En los últimos años Bogotá ha venido presentando problemas de movilidad lo que ha generado estudios y modelos para el mejoramiento de esta situación, esto refiere más a las intersecciones debido a que son el mayor punto de importancia y son el eje principal para que la fluidez vehicular sea la adecuada.

Así por ejemplo, Jorge Humberto Sánchez Francesconi³ señala que la capacidad de un acceso se da por el producto del flujo de saturación y el tiempo en verde que se da en una hora mediante la medición directa en campo, a través de procedimientos estándares, determinando cuantos vehículos pasan por un punto en cierto tiempo. Este valor varía según los factores físicos del tránsito y de operación de la intersección, provocando el paso de un mayor o menor número de vehículos que pasan en una hora. Esta investigación tuvo como objetivo estimar la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento mediante la medición de variables tales como el área afectada, la localización y el grado de daño en el pavimento mediante la medición metodológica HCM (Highway Capacity Manual) y se generó una evaluación del estado del pavimento por medio del método PCI (Índice de Condición del Pavimento).

Se obtuvo como resultado en la investigación que existe una relación directa entre la capacidad de la intersección y las condiciones del pavimento, observando que a medida que disminuye las condiciones de la capa de rodadura, se genera a su vez un menor flujo de saturación. El estudio llegó a la conclusión que es recomendable utilizar la metodología de la HCM, permitiendo mejorar algunos factores que intervienen en el estado del pavimento y por ende las intersecciones semaforizadas.

³SANCHEZ, Humberto. Estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento. En línea: Universidad Nacional de Colombia, Fac. Ing. Civil, Bogotá 2011. P. 12.

De otra parte, Ricardo José Peña Lindarte⁴ generó un estudio para las intersecciones semaforizadas a partir del coeficiente de análisis del factor de ajuste por utilización de carril (f_{LU}), propuesta en la HCM, teniendo en cuenta las condiciones operacionales de algunas intersecciones semaforizadas en Bogotá. Para ello se calcularon factores de ajuste en los que se encuentran, ajuste de estacionamiento, tipo de área, inclinación de la rasante, bloque de la operación de buses, vehículos pesados, giros a la derecha o la izquierda en grupo por carriles, peatones y bicicletas y ancho de carril.

Estableció un análisis en las características de la infraestructura vial que se define por el tipo vía, componentes de la sección y la continuidad de la trayectoria. De igual forma hizo un análisis del tránsito, teniendo como variables el volumen vehicular, información en las horas de máxima demanda asociada con los volúmenes y movimientos vehiculares permitidos en su metodología. Con respecto a los factores de ajuste que planteó a partir de la HCM, se llegó a que es posible una calibración en las variables que se presentan en las intersecciones semaforizadas en Bogotá. El estudio generó posibles perspectivas a futuro haciendo la validación y calibración de los factores de ajuste correspondientes, analizando la capacidad y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas en Bogotá.

Carlos Urazán, Yeimi Pérez, Zulma Rey⁵ exponen que el problema en Bogotá es el crecimiento del parque automotor, de ello plantean que el factor predominante en las intersecciones es la congestión por giro a la izquierda, como lo son; giro directo semafórico, giro tras realizar retorno, giro por oreja y giro por oreja manzana. Para su estudio evaluaron 31 giros a la izquierda en 10 intersecciones en la ciudad de Bogotá. En la metodología seleccionaron estas intersecciones a

⁴ PEÑA, Ricardo José. Análisis de los factores de ajuste por utilización de carril en intersecciones semaforizadas de Bogotá D.C." Artículo, Investigación e ingeniería Vol 30. 2010

⁵ URAZAN, Carlo. PEREZ, Yeimy. REY, Zulma. Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a la izquierda. Estudio de caso, Bogotá D.C." Artículo, 2013.

partir de condiciones geométricas, disposición de infraestructura, tiempo requerido, distancia de recorrido, fases semafóricas, condición vehicular y número de intersección, para cada uno de los giros a la izquierda

En conclusión, en la investigación se reconoce que todos los giros o movimientos a la izquierda son los que generan menor velocidad debido a que las distancias de recorrido son mayores o generan puntos de conflicto. Uno de los cambios que involucran en las intersecciones es la infraestructura para los movimientos a la izquierda, como preferencia a los carriles exclusivos para giro, esto con el fin de eliminar segundas colas al momento de la salida de la intersección. Se estableció adicionalmente que el problema no radica en las características geométricas, sino también por las condiciones secundarias tales como entradas y salida a parqueaderos, o ciclo carriles.

El trabajo de Lorena Yinet Ortegón⁶ genera una serie de cuestionamientos que abarcan la infraestructura vial en intersecciones, del tramo comprendido entre la calle 76 hasta la calle 28, por el corredor de la Av. Caracas, sección de Bogotá donde hay gran cantidad de intersecciones y cuenta además con una troncal de Transmilenio. En el estudio se tuvo en cuenta parámetros geométricos actuales, identificando los puntos críticos para cada intersección estudiada, planteando una solución dependiendo el tipo de infraestructura y una disposición espacial con pasos a desnivel o deprimido.

Se realizó el estudio geométrico con fotos e imágenes, se procedió a distinguir las intersecciones según la tipología (volumen, capacidad sentido de circulación, accidentalidad y geometría) y se clasificó en cinco grupos, según las normas INVIAS, manual de túneles y obras subterráneas, estudios de movilidad y tránsito, se generaron posibles parámetros de diseño para las soluciones formuladas.

⁶ORTEGON, Lorena Yinet. “Estudio geométrico a desnivel para posibles intersecciones vehiculares en la Caracas, tramo calle 76 – Calle 28” Tesis, Bogotá 2013

A partir de este estudio establecieron giros diferentes a desnivel para cada una de las intersecciones entre ellos giro a la izquierda, reduciendo tiempos de espera y aumentando velocidades; también de acuerdo a la solución planteada de paso a desnivel sobre la Av. Caracas, la velocidad aumentaría debido a que el paso a desnivel no cuenta con semáforos y hay un flujo continuo, y adicionalmente se disminuirían los puntos de conflicto.

Se llegó a la conclusión que es necesario la adecuación de la geometría de la misma para poderse adaptar a las necesidades de los usuarios, creando pasos a desnivel o a nivel dependiendo de las distancias que podrían suplir con los cambios. También por medio de este estudio se logró establecer la clasificación de algunas intersecciones mediante el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS, obteniendo varios grupos entre los que están:

- Las intersecciones en X simple
- Intersecciones en X ensanchada
- Intersecciones en + simple oriente-occidente
- Intersecciones en + simple occidente-oriente e intersecciones en + simple doble sentido.

Finalmente FeiYan, Mahjoub Dridi y Abdellah El Moudni⁷ trata de las restricciones vehiculares de tiempos reales en una intersección y las demoras que causa esta problemática. En el estudio proponen estrategias para el mejoramiento eficaz de la situación actual del tráfico especialmente en la intersección. Presentado diversos algoritmos de secuencias vehiculares basadas en los análisis de información y las propiedades estructurales que cuidadosamente deben ser analizadas para una búsqueda óptima. Como objetivo del trabajo espera llegar a un aumento de rendimientos en la intersección estudiadas proporcionando límites inferior y superior eficientes para métodos de rama y algoritmos.

⁷ YAN, Fei. *Et al.* Combinatorial optimization algorithms for intelligent vehicle sequencing problem at an isolated intersection. Francia: Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2012. 3-19 p.

Como conclusiones, se estudió la eficiencia de los métodos de Rama y Algoritmos de Boud, se desarrollan con base a los análisis y las propiedades estructurales del problema dando como resultados demostrados en la eficiencia de los algoritmos propuestos y el tiempo de ejecución que puede satisfacer la necesidad de un tiempo real a partir de un sistema de control. La idea de este estudio a futuro es ver que los vehículos especiales como lo son las ambulancias, tienen privilegios de pasar por una intersección lo más rápido posible, por lo tanto estos vehículos especiales serán tomados en consideración en conjunto a la restricción de tiempos real y así garantizar optimización más global.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1. Semáforos

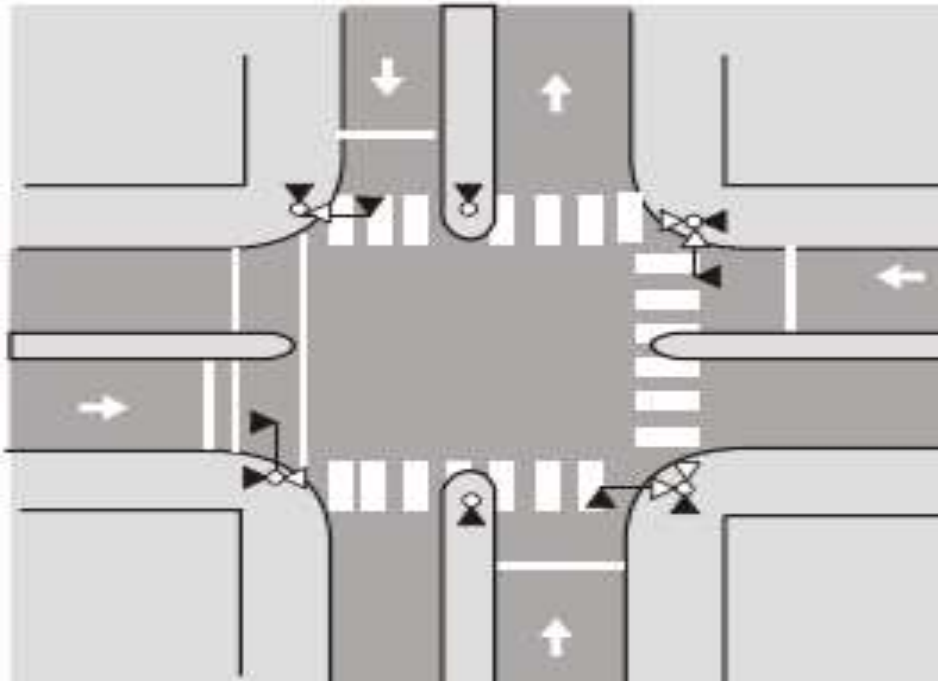
Los semáforos son elementos reguladores de tráfico por excelencia en las zonas urbanas, aproximadamente en cada acceso de una intersección se utiliza por lo mínimo un semáforo para regular dicho acceso. Tiene un mecanismo de tres colores los cuales son verde, ámbar y rojo que se encienden aleatoriamente y en un lapso determinados para controlar los tiempos de espera de los vehículos que circulen por la intersección.

5.1.1.1. Función semafórica.⁸

- Interrumpir periódicamente el tránsito de una corriente vehicular o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular.
- Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante.
- Controlar la circulación por carril.
- Eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones perpendiculares.
- Proporcionar un ordenamiento del tránsito.

⁸ Ministerio de transporte, Manual de Señalización, Capítulo 7: Semáforos, Vol, 1, Bogotá. Ministerio de transporte, 2004. Pag 243. Disponible en: www.mintrasmarte.gov.co/documentos/documentos_del_ministerio/manuales/manuales_de_señalizacion_vial.

Figura 1. Ubicación y número de caras en intersecciones de calles de doble sentido con separador.



Fuente: movilidad, alcaldía de Medellín. Semáforos.

5.1.2. Factor de hora pico⁹

Después de conocer la hora de máximo volumen, es importante definir el comportamiento y las variaciones del tránsito en la hora más crítica, es decir el factor de hora pico (F.H.P), esta proporción tiene como función convertir el volumen horario en tasa de flujo que representa los 15 minutos de mayor saturación en la hora pico.

Así el factor de hora pico se calcula con la siguiente ecuación:

$$F.H.P = \frac{Vol\ total}{4 * (Vol\ max\ 15\ min)} \quad (1)$$

⁹ Highway Capacity Manual, Cap 5. P

Dónde:

Vol. total = Volumen total de la intersección en la hora pico

Vol. max15min = Volumen máximo durante los 4 periodos de la hora pico divididos en 15 min.

Este valor debe oscilar entre 0.25 y 1, así el significado de este valor, como se mencionó anteriormente, es presentar la variación del tráfico en la hora crítica, el valor mínimo representa un flujo vehicular que se presenta en un solo periodo de 15 minutos, en cambio si el valor está en su variación más alta entonces significa que en estos 4 periodos, presentan un volumen homogéneo a lo largo de la hora pico.

5.1.3. Determinación de grupo de carriles (GC)¹⁰

El grupo de carriles se define como uno o más carriles de circulación con una sola línea de detención y cuya capacidad la comparten todos los vehículos que circulan por el carril o carriles, así se logran determinar por el movimiento direccional al que sirven.

Los grupos de carriles están compuestos por carriles de dos tipos:

5.1.3.1. Exclusivos

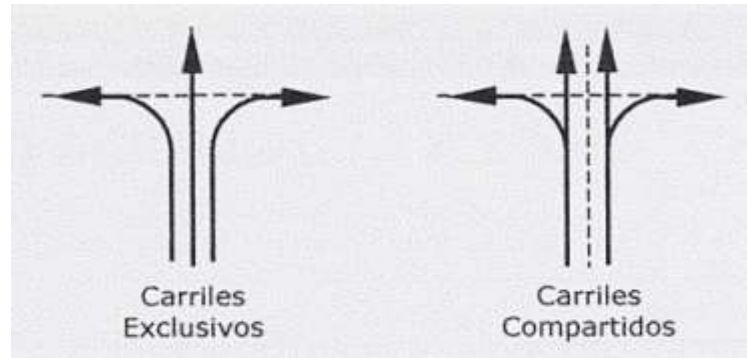
Los vehículos que circulan por este tipo de carriles únicamente pueden efectuarse un movimiento, normalmente de giro a la izquierda o a la derecha.

5.1.3.2. Compartidos

En ellos los vehículos disponen de varios movimientos posibles.

¹⁰ ibid, p. 34

Figura 2. Tipos de carriles en una intersección



Fuente: Trafico en vías interurbanas, Cap 8. Pag. 12

En la siguiente tabla se presentan algunas posibilidades de agrupamientos típicos de carriles.

Tabla 1. Posibilidades de agrupamiento de carriles

Nº DE CARRILES	MOVIMIENTOS POR CARRIL	POSIBLES GRUPOS DE CARRILES
1	GI+R+GD	ACCESO DE UN SOLO CARRIL
2	GI EXC R+GD	
2	GI+R R+GD	
3	GI R R+GD	

Fuente: Trafico en vías interurbanas, Cap 8. Pag 12.

5.1.4. Flujo de Saturación

Es el máximo volumen de tránsito que logra entrar en una intersección sanforizada por un carril o grupo de carriles, si el semáforo estuviera siempre en verde; esta es expresada como la proporción horaria en unidades de vehículos por hora por carril (Veh/h/Carril).

Se calcula mediante la ecuación establecida por el Highway Capacity Manual (HCM).¹¹

$$S = S_o * N * F_w * F_{hv} * F_g * F_p * F_{bb} * F_a * F_{lu} * F_{lt} * F_{rt} * F_{lpb} * F_{rpb} \quad (2)$$

Donde;

Intensidad de saturación ideal (So): representa el promedio de flujo para un tráfico que tenga condiciones correspondientes o evaluadas de 1 en cada factor de ajuste, se tiene establecido como estándar un valor de 1900 veh/h/carril.

Número de carriles (N): es la cantidad de carriles que tiene el grupo de carril.

Factor de ajuste por ancho de carril (Fw): Esta establecido como estándar el valor de 3.65 metros y si este valor sobrepasa los 4.8 metros se debe analizar como de dos carriles.

En la siguiente tabla están los valores establecidos por carril.

Tabla 2. Factor de ajuste por unidad de carril

Promedio ancho Carril (m)	Factor de ajuste (Fw)
< 3.0	0.96
≥ 3.0 – 3.92	1.00
> 3.92	1.04

Fuente: HCM 2010- Capitulo 18. Pag. 40.

¹¹ibid, p 46

Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular (Fhv): este factor tiene en cuenta el espacio que ocupa un vehículo pesado en relación con número de paradas diferentes de los vehículos ligeros, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{hv} = \frac{100}{100 + PHV (ET - 1)} \quad (3)$$

Donde;

PHV = es el porcentaje de vehículos pesados correspondientes a los movimientos de grupo de carril.

Et = equivalente de número de vehículos por cada vehículo pesado.

Factor de ajuste por inclinación del acceso (Fg): Este factor se mantiene en un rango -6.0% a +10.0% inclinación de los accesos.

Factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento (Fp): este factor tiene en cuenta en efecto de fricción en el aparcamiento de grupo de carril, si no se presenta aparcamiento este valor será igual a 1, y si se presenta el tiempo de maniobra esta sobre un valor de 18 segundo, por lo cual se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18Nm}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (4)$$

Donde,

Nm= número de maniobras

N= número de carriles

Factor de ajuste por estacionamiento de bus (Fbb): Teniendo en cuenta el impacto de los autobuses en una intersección, la distancia para recoger y descargar pasajeros es entre 76 m y la línea de parada. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{bb} = \frac{N - \frac{14.4Nb}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (5)$$

Donde,

Nb = Número de paradas (autobuses/hora)

Factor de ajuste por tipo de área (Fa): se tiene en cuenta la ineficiencia relativa de las intersecciones en las zonas comerciales en comparación con aquellas zonas situadas en otros lugares y se debe a la complejidad y congestión en el entorno de zonas comerciales.

Factor de ajuste por utilización de carril (Flu): se calcula para estimar la saturación del flujo por carril o grupo con más de un carril exclusivo, pero si el carril de grupo tiene carriles exclusivos el factor es 1, en la siguiente tabla se pueden observar algunos valores recomendados por la HCM-2000.

Tabla 3. Factores de utilización de carril recomendados por la HCM-2010 para análisis de intersecciones

Mov. en los grupo carril	No de carriles en los GC	Factor de utilización recomendado
flujos directos	1	1
	2	0.925
	3	0.908
Giro izquierdo exclusivo	1	1
	2	0.971
Giro derecho exclusivo	1	1
	2	0.885

Fuente: HCM-2010, Elaboración: Propia

Factor de ajuste por giros a la izquierda (Fit): Factor intenta reflejar el efecto de la geometría que tiene esta maniobra, además de mostrar el conflicto que tiene en la intersección cuando se realiza este giro. Se debe tener en cuenta si los giros son protegidas, permitidos o protegidas-permitidas. Se determina mediante la ecuación:

(6)

$$Flt = \frac{1}{El}$$

Donde;

EL= Porcentaje de equivalentes al giro a la izquierda.

Factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carril (Frt): de igual manera que el factor de ajuste a la izquierda se deben tener en cuenta los mismos parámetros y se determina por la ecuación:

$$Frt = \frac{1}{El} \quad (7)$$

Factor de ajuste por movimiento a la izquierda y a la derecha de peatones (Flpb y Frpb): para este factor se debe tener en cuenta tres factores importantes.

1. Se determina la ocupación promedio de peatones (OCCpedg) para este proceso requiere conocer el flujo de los peatones durante un tiempo de servicio de los mismos (Vpedg), siendo calculada de esta manera:

$$Vpeg = Vped \frac{C}{gp} \quad (8)$$

Donde;

Vped = Flujo de peatones en el cruce (p/h)

C = Ciclos (s)

Gp = Tiempo de servicio de peatones (s).

Si el flujo de peatones durante el servicio de tiempo es menor o igual a 1000p/h, sería computado con la ecuación:

$$OCCpedg = \frac{Vped}{2000} \quad (9)$$

Pero si excede se utiliza la ecuación:

$$OCCpedg = 0.4 + \frac{Vped}{10000} \leq 0.90 \quad (10)$$

2. El flujo de bicicletas durante la indicación de verde es calculado con la ecuación:

$$Vbicg = Vbic \frac{C}{g} \leq 1900 \quad (11)$$

Donde,

Vbic = flujo de bicicletas (bicicletas/h)

C = Ciclo (s)

G = tiempo de efectivo en verde.

Obtenido el flujo de bicicletas/h es calculado el promedio de ocupación de bicicletas con la siguiente ecuación; existe un máximo de 1900 bicicletas/h.

$$OCCpedg = 0.02 + \frac{Vbicg}{2700} \quad (12)$$

3. Determinar el conflicto de la zona de ocupación usado para los movimientos de giros a la derecha sin interferencia de bicicletas o para movimientos de giro a la izquierda para una Calle de un sentido (OCCr), mediante la ecuación:

$$OCCr = \frac{gped}{g} OCCpedg \quad (13)$$

La ecuación es usada para movimientos giro a la derecha implicando el movimiento de peatones y ciclistas, con todas las variables ya previamente determinadas en las definiciones anteriores.

$$OCCr = \left(\frac{g_{ped}}{g} OCC_{pedg} \right) + OCC_{bicg} - \left(\frac{g_{ped}}{g} OCC_{pedg} OCC_{bicg} \right) \quad (14)$$

4. Determinar

factor ajuste del flujo de saturación. Estos factores son afectados por peatones y bicicletas que influyen en la movilización de vehículos que giran a la izquierda o la derecha. Lo cual es determinado por la siguiente ecuación:

$$ApbT = 1 - OCCr \quad (15)$$

Si el número de carriles receptor es mayor al número de carriles origen el vehículo podrá realizar maniobras para esquivar peatones o bicicletas. Para ellos es necesario utilizar la siguiente ecuación.

$$ApbT = 1 - 0.6 OCCr \quad (16)$$

Para la determinación de estos factores para grupos de ciclistas y peatones en los giros se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Flpb = ApbT \quad (17)$$

5.1.5. Capacidad vial

Es el número máximo de vehículos o unidades de tráfico que pueden pasar por un punto dado durante un determinado tiempo, el cual depende del diseño geométrico y de los usuarios. Algunos factores que pueden afectar la capacidad vial son; la infraestructura de la vía y la cantidad de vehículos que pueden transitar por la misma. Para establecer la capacidad vial se debe tener la siguiente ecuación:

$$C = N * S \frac{g}{c} \quad C = N S \frac{g}{c} \quad (18)$$

Donde,

N = Número de Carriles en el grupo de carril

S = Proporción de flujo de saturación (Veh/h), definido anteriormente

g/c = Proporción de verde efectivo en el grupo de carriles

g = Tiempo de verde efectivo (s)


c = Ciclo semafórico (s)

- *Proporción de Flujo de Capacidad (Vol. real/ Capacidad)*: este parámetro es el cociente entre el volumen real que transita por los grupos de carriles y el volumen teórico por el cual estaría diseñado, basado en el cálculo de la capacidad.

5.1.6. Nivel de servicio

Es la medida cualitativa que define la complejidad con la que un usuario percibe el estado de la vía, teniendo como variables la velocidad, el confort, la disposición de realizar maniobras, el estado de la malla vial y las condiciones de circulación de los vehículos. Las condiciones de circulación en cada uno de los 6 niveles de servicios los cuales lleva asociada una letra y se definen como:

Tabla 4. Nivel de servicio

A	<ul style="list-style-type: none">• La velocidad de los vehículos es la que elige libremente cada conductor• Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarle sin sufrir demora• Circulaciones de circulación libre y fluida	
----------	---	---

B	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad de los vehículos más rápidos se ve influenciada por otros vehículos • Pequeñas demoras en ciertos tramos, aunque sin llegar a formarse colas • Circulación estable a alta velocidad 	
C	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad y la libertad de maniobras se hallan más reducidas, formándose grupos • Aumento de demoras de adelantamiento • Formación de colas poco consistentes • Nivel de circulación estable 	
D	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad reducida y regulada en función de la de los vehículos precedentes • Formación de colas en puntos localizados • Dificultad para efectuar adelantamientos • Condiciones inestables de circulación 	
E	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad reducida y uniforme para todos los vehículos, de orden de 40-50 km/h • Formación de largas colas de vehículos • Imposible efectuar adelantamientos • Define la capacidad de una carretera 	
F	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de largas y densas colas • Circulación intermitente mediante parones y arrancadas sucesivas • La circulación se realiza de forma forzada 	

Fuente: Trafico de vías interurbana

Las carreteras interurbanas deben dimensionarse de forma que las condiciones de circulación no sean peores que las correspondientes a un nivel de servicio B, excepto durante unas pocas horas al año. En autopistas y arterias urbanas no debería sobrepasarse el nivel de servicio C durante las horas punta, mientras que las condiciones de circulación correspondientes al nivel de servicio D solo resultan tolerables durante periodos cortos de tiempo en zonas urbanas o suburbanas.

También cabe reseñar que la intensidad de tráfico definida por el nivel de servicio E siempre coincide con la capacidad de la vía estudiada¹².

Para calcular el nivel de servicio se necesita determinar las demoras que muestra cada grupo de carril que se presenta en unidades de segundo (s), estas demoras se estiman por medio de la ecuación:

$$d = d1 (PF) + d2 \quad (19)$$

Donde,

D1= demoras uniforme (s/Veh)

PF= factor de progresión d2

D2= incremento de demora

La demora uniforme se calcula de la siguiente manera:

$$d1 = \frac{g*0.5*C\left(1-\frac{g}{c}\right)^2}{1 - \left[\min\left(1\left(\frac{v}{c}\right)\frac{g}{c}\right)\right]} \quad (20)$$

Donde,

g = Tiempo efectivo de verde

C = Ciclo semafórico

v = Volumen Real por grupo de carril

c=Capacidad por grupo de carril

El factor de progresión, la cual está en proporción del tiempo de verde, se determina por la siguiente ecuación:

¹²BAÑON, Luis. Manual de carreteras. En línea: http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01020203.pdf. Alicante. Universidad de Alicante Escuela Politécnica Superior. 1999. p. 6.

$$PF = \frac{1 - \left[\frac{1.33}{\frac{g}{c}} \right]}{1 - \frac{g}{c}} \quad (21)$$

Por último, el incremento de demora se evalúa y es válido en todos los términos de saturación, por medio de la ecuación:

$$d2 = 900T \left[\left(\frac{V}{C} - 1 \right) + \sqrt{\left[\left(\frac{V}{C} - 1 \right)^2 + \frac{8kl \left(\frac{V}{C} \right)}{cT} \right]} \right] \quad (22)$$

Donde,

T = el periodo de análisis

K = demora por el semáforo actuado

l = demora de incremento por cambios de fase
semafórico

Así el nivel de servicio se determinara a partir de la demora ya calculada con la siguiente tabla.

Tabla 5. Determinación de nivel de servicio

Descripción de los niveles de servicio		
N.S	Características de la operación	DEMORA (Seg)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no hacen alto	< 5.00
B	Ocurre con una sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse	5.1 a 15.00
C	Ocurren con sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar	15.1 a 25.00
D	Empieza a notarse la influencia de congestionamiento, ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable, muchos vehículos se detienen	25.1 a 40.00
E	empieza el limite aceptable de la demora; indica una	40.00 a

	sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en ciclos son frecuentes	60.00
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean menores de 1 pero con una sincronía muy pobre	> 60.00

Fuente: determinación del máximo flujo vehicular de saturación en intersecciones semaforizadas. 1998

5.1.7. Señalización

La señalización surge debido a que existe la necesidad de lograr informar al conductor del vehículo sobre las características de la vía en la que está circulando, así la misión de la señalización vial se define en tres aspectos:

- Advertir peligros potenciales.
- Informar sobre algunas normas y reglamentaciones de tramo de la vía.
- Orientar al conductor las oportunas indicaciones para que este sepa hacia dónde va, donde esta y que dirección debe tomar para llegar a su destino.

Para que estos principios cumplan en una señalización, deben cumplir unos parámetros para su optimización:

Claridad: debe llamar la atención del usuario logrando una buena interpretación de la misma.







Sencillez: Debe ser de fácil interpretación para cualquier conductor capacitado de manejar.

Precisión: comprensión inmediata para el conductor en caso de necesitarla logrando tomar la decisión y reacción ante la advertencia visualizada.

Universalidad: la interpretación de la misma debe ser homogénea, capaz de ser entendida por cualquier usuario independientemente de la zona, región o país donde se encuentre.

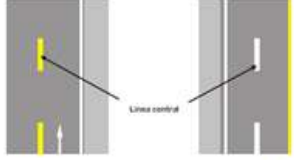
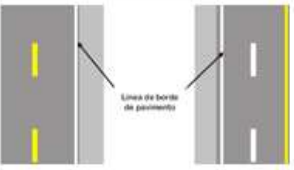
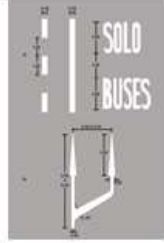
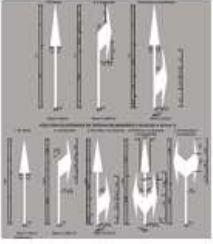
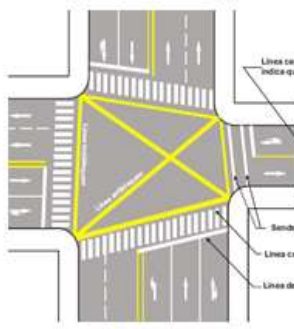
En la intersección de estudio se encuentran señalizaciones verticales y horizontales que a continuación se presenta:

Tabla 6. Señalización horizontal en la zona de estudio

TIPO	CODIFICACION	SIGNIFICADO	GRAFICO	CANTIDAD	DESCRIPCION
PREVENTIVA	SP-46	PEATONES EN LA VIA		1	Esta señal se empleará para advertir al conductor la proximidad a lugares frecuentados por peatones que caminan sobre la calzada o la cruzan a nivel, en un sitio determinado
REGLAMENTARIA	SR-06	PROHIBIDO GIRAR A LA IZQUIERDA Y PROHIBIDO GIRAR A LA DERECHA		1	Estas señales se emplearán para notificar al conductor la prohibición de girar a la izquierda o a la derecha.
	SR-08			2	
INFORMATIVA	SI-08	PARADERO DE BUSES		2	Esta señal se empleará para informar a los usuarios el sitio mismo, la dirección o la distancia de un lugar autorizado como paradero de buses
	SI-05	INFORMACION PREVIA DE DESTINO		1	Esta señal se empleará para indicar a los conductores, antes del paso por una intersección, la dirección correcta a seguir para llegar a una población, sitio de interés, o destino de viaje, mediante el uso de mensajes escritos y flechas.
ELEVADAS	-	SEÑALIZACION TIPO BANDERA		3	Las señales informativas elevadas, previas de destino SI-05, colocadas sobre carriles de circulación se ubican de acuerdo con el tránsito promedio diario (TPD) de la vía.
PREVENTIVA				1	
REGLAMENTARIA				3	
INFORMATIVA				3	
ELEVADAS				3	
TOTAL SEÑALES VERTICALES				10	

Fuente: Manual de señalización, Elaboración propia

Tabla 7. Señalización vertical en la zona de estudio

TIPO	SIGNIFICADO	GRAFICO	DESCRIPCION
MARCA LONGITUDINAL	LINEA CENTRAL		Las líneas centrales estarán conformadas por una línea segmentada de 12 cm de ancho, como mínimo, con una relación de longitudes entre segmento y espacio de tres (3) a cinco (5).
	LINEA BORDE PAVIMENTO		Esta línea separa la berma del carril de circulación, indicando el borde exterior del pavimento. Estará formada por una línea blanca continua de 12 cm de ancho.
	DEMARCAACION DE CARRILES EXCLUSIVOS PARA BUSES		No deberá usarse esta demarcación en paraderos de buses porque incita a desobedecer la indicación que ella conlleva. Las líneas siempre serán de color blanco.
	FLECHAS		Son marcas en el pavimento con forma de saeta denominadas flechas que indican los sentidos de circulación del tránsito y se utilizarán como señal de reglamentación para el conductor
MARCA TRASVERSAL	DEMARCAACION DE LINEA DE "PARE"		Esta demarcación deberá usarse en zonas urbanas y rurales para indicar el sitio de parada de vehículos anterior a una señal de tránsito o un semáforo, que reglamenta su detención antes de entrar a una intersección. Su color será blanco.
	DEMARCAACION DE PASO PEATONAL		Esta demarcación se empleará para indicar la trayectoria que deben seguir los peatones al atravesar una calzada de tránsito. Estas marcas serán de color blanco.
	LINEA ANTIBLOQUEO		Tienen por objeto notificar a los conductores la prohibición de obstruir en una intersección, aún cuando el semáforo se lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal, que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

Fuente: Manual de Señalización, Elaboración propia

5.1.8. Intersecciones

Se define como intersección la zona en la que confluyen dos o más vías. Las intersecciones hacen parte esencial de la red viaria, debido a que son los puntos en los que se puede cambiar de rumbo y así poder seguir el itinerario deseado. En






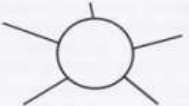
ellas los vehículos pueden continuar distintas trayectorias, y es necesario mantenerlas en orden para reducir conflictos entre los movimientos de la intersección.

“Para el diseño de una intersección es necesario combinar los elementos más adecuados con sus circunstancias específicas para que estos movimientos se puedan llevar a cabo con comodidad y seguridad”¹³.

5.1.8.1. Tipos de intersecciones viales

Aunque la variedad de intersecciones que pueden proyectarse es casi limitada, puede establecerse una tipología de las mismas en función del número de vías o ramales que concurren. Dentro de algunos de estos grupos, deben distinguirse dos subgrupos en función de la disposición geométrica que adoptan los ramales.¹⁴

Figura 3. Resumen tipológico de intersecciones

S.6		Tipos de intersecciones		
		Perpendiculares	Oblicuas	
Tres ramales		En T		En Y
Cuatro ramales		En cruz		En X
Múltiple				
Giratoria				

Fuente: Trafico de vías interurbanas

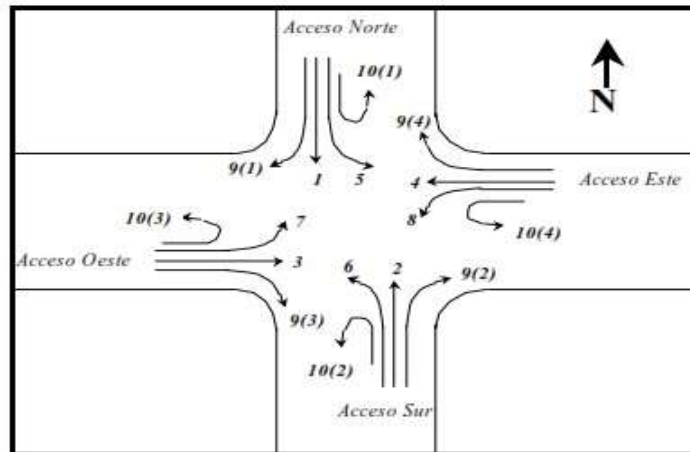
¹³ AGOSTA, Roberto y PAPAIZAN Arturo. Infraestructura del transporte terrestre. Diseño Geométrico, Intersecciones. En línea: materias.fi.uba.ar/6807/contenidos/Notas%20DG%20202%20Intersecciones.ppt. Argentina. 2008. p. 2.

¹⁴ BAÑÓN, Luis. Manual de carreteras. En línea: http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01010501.pdf. Alicante. Universidad de Alicante Escuela Politécnica Superior. 1999. p. 8.

5.1.8.2. Movimientos en una intersección

A continuación se representa los movimientos posibles mínimos en una intersección tipo cruz:

Figura 4. Movimientos en una intersección



Fuente: Alcaldía de Bogotá, 2005 Pag 5-8

Tabla 8. Accesos, Movimientos y códigos en una intersección

ACCESO	MOVIMIENTO	CODIGO
NORTE	Directo	1
	Giro a la izquierda	5
	Giro a la Derecha	9(1)
	Giro en u	10(1)
SUR	Directo	2
	Giro a la izquierda	6
	Giro a la Derecha	9(2)
	Giro en u	10(2)
OESTE	Directo	3
	Giro a la izquierda	7
	Giro a la Derecha	9(3)
	Giro en u	10(3)
ESTE	Directo	4
	Giro a la izquierda	8
	Giro a la Derecha	9(4)
	Giro en u	10(4)

Fuente: Alcaldía de Bogotá, 2005 Pag-5

Paso inferior o superior:

Estructura que se construye en un cruce de dos o más ejes de una carretera de referencia por encima o por debajo de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas de ambas vialidades, para no tener interrupciones de flujos de tráfico con respecto a otras rutas de tránsito cuando se cruzan entre sí

Los pasos desnivel se construyen para aumentar la capacidad o el nivel de servicio de intersecciones importantes, con altos volúmenes de tránsito y condiciones de seguridad insuficientes, así como para mantener las características funcionales de un itinerario sin intersecciones a nivel, por lo que su diseño y construcción deben justificarse por razones como:

- Funcionalidad. Ciertas carreteras como autopistas y vías de primer orden, porque tienen limitación de accesos las primeras, o por la categoría y características que les atribuyen los planes viales nacionales, regionales o departamentales, requieren la construcción de intersecciones a desnivel.
- Capacidad. Si la capacidad es insuficiente en una intersección, una alternativa por considerar, en el estudio de factibilidad, es separar niveles, así haya alternativas posibles a nivel.
- Seguridad. Puede ser la seguridad, unida a otras razones, uno de los motivos para construir un enlace y no una intersección.
- Factibilidad. Por las elevadas inversiones que implica, en general, la construcción de una intersección a desnivel, es necesario el estudio de factibilidad, en el que debe analizarse, si a ello hubiere lugar, la construcción por etapas.¹⁵

¹⁵ SUAREZ, Hugo Noel et al. PREDISEÑO GEOMÉTRICO A NIVEL Y A DESNIVEL DE LA INTERSECCIÓN EL JAZMÍN. Trabajo de grado Ingeniero Especialista en Vías y Transportes. Manizales. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES. 2005. p. 24.

Figura 5. Paso inferior



Fuente: nuevo-paso-desnivel-longitud-metros

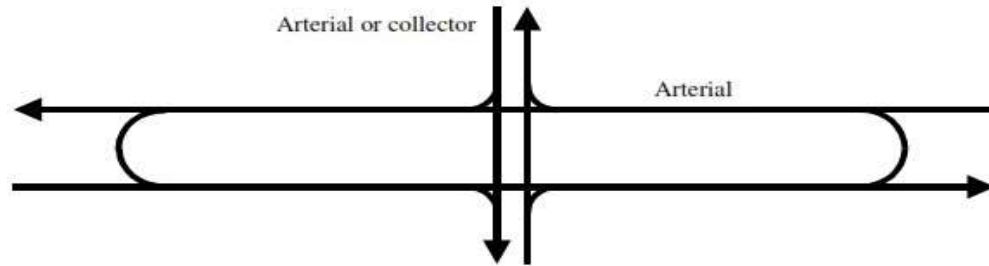
Figura 6. Paso superior



Fuente: LNCIMA20131014

Mediana con giro U: esta solución requiere una intersección semaforizadas con una vía arterial y complementaria como lo muestra la figura siguiente con giro a la izquierda permitido y/o protegido. Esta opción es aplicable cuando los volúmenes de los giros a la izquierda en las dos vías son de medio a bajo.

Figura 5. Opción mediana con giro en U.

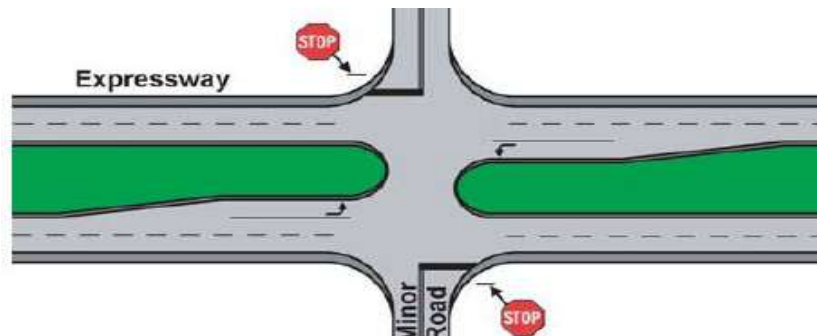


Fuente: Hummer J., et al (2007)

Esta solución propone quitar y re-direccionar el volumen del tráfico que gira a la izquierda ya sea de la vía arterial o complementaria o en algunos casos los dos.

Esta opción se realiza de la siguiente manera: el conductor que proviene de la vía arterial y desea tomar la vía perpendicular tiene que seguir hasta un retorno y procede a una mediana abierta donde realiza un giro en U seguido de un giro a la derecha para tomar la vía transversal, ya sea colectora o arterial o viceversa. Los giros a la izquierda como lo muestra la siguiente figura, son prohibidos permitiendo que un volumen mayor de tráfico transite por la intersección de manera más rápida y segura, proveniente de la reducción de las fases semaforicas, y como resultado la intersección aumenta su capacidad y nivel de servicio. ¹⁶

Figura 7. Ejemplo de una intersección de mediana con giro en U



Fuente: blog ingeniería de seguridad vial

Mini-rotonda:

Las mini rotondas, al igual que las rotondas tradicionales, son elementos separadores de flujos, instaladas en intersecciones, formando una isla central. El ingreso se hace cediendo el paso a los vehículos que ya están circulando por la mini-rotonda; es decir, los conductores sólo deben mirar a su izquierda para ingresar a la intersección.¹⁷

Figura 8. Ejemplos de mini-rotondas simples



Fuente: Comisión nacional de seguridad de tránsito

Función

La función principal de una mini rotonda es eliminar muchos de los conflictos que se producen en intersecciones con virajes, especialmente aquéllos hacia la izquierda. Por ejemplo, en los cruces de dos vías con doble sentido, las mini-rotondas reducen sólo a ocho los 32 conflictos que normalmente existirían. La mini rotonda también puede ser usada como moderador de velocidad en vías largas y rectas con varias intersecciones similares (vías secundarias).¹⁸

¹⁷ Comisión nacional de Seguridad de tránsito. Mini Rotondas. Chile: 2003. p. 1.

¹⁸ Ibid., p. 1.

Figura 9. Mini-rotonda en una intersección



Fuente: Plataforma urbana chile

Las mini rotondas se pueden usar cuando en una intersección llegas más de tres ramas y que además se presentan conflictos en la movilización vehicular principalmente en los giros a la izquierda de una intersección. Además de esto las mini rotondas tienen una medida de gestión y seguridad vial de bajo costo, y por lo general no hay necesidad de hacer grandes cambios al trazar una intersección. La capacidad y nivel de servicio de la intersección puede mejorar.

5.2. MARGO GEOGRÁFICO

La intersección está ubicada al norte con la calle 54, al sur con la calle 52, al occidente con la Carrera 15 y al oriente con la Carrera 13, sobre el sector de chapinero en la ciudad de Bogotá, donde se verificara la movilidad para plantear una alternativa a la congestión vehicular en la zona de estudio.

Figura 10. Localización de la intersección de estudio.



Fuente: Movilidad Bogotá. Mapas. Arcgis. Elaboración: Propia

5.3. MARCO LEGAL

Para modelación, diseño y construcciones de una vía, es necesario tener en cuenta distintas normas o leyes que se deben cumplir y para el diseño y ejecución de un proyecto, para garantizar una vida útil y la seguridad de los usuarios. A partir de esto la siguiente normatividad especifica cada uno los procesos técnicos y legales que se deben establecer para la recopilación de información para intersección de estudio de la calle 53 con Av. Caracas en la ciudad de Bogotá.

COMPONENTE	LEY O NORMA	DESCRIPCIÓN
ANSV	LEY 1702 DEL 27 DE DICIEMBRE DE 2013	Se trata de un enfoque multidisciplinario sobre medidas que intervienen en todos los factores que contribuyen a los accidentes de tráfico en la vía, desde el diseño de la vía y equipamiento vial, el mantenimiento de las infraestructuras viales, etc.
SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD VIAL	ISO 39001	TIENE COMO PRINCIPAL OBJETIVO MEJORAR LA SEGURIDAD DE SUS OPERACIONES, CUBRE LOS ASPECTOS QUE PUEDEN INFLUIR EN LA SEGURIDAD, TENIENDO EN CUENTA EL DISEÑO Y EL ESTADO DE LAS CARRETERAS.
CODIGO NACIONAL DE TRANSPORTE	LEY 769 DE 2002	EN LOS ARTICULOS 111-117-118 NOS HABLA RESPECTIVAMENTE DE LAS RELACIONES DE LAS SEÑALES DE TRANSITO, LAS CUALES LE DA IMPORTANCIA A LA SEMAFORIZACION.

Fuente: Propia

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

La metodología de diseño con la que se va a realizar la investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que por medio de aforos vehiculares se obtendrán datos actuales tales como el volumen vehicular, tiempos de ciclos y fases semafóricas teniendo como fin, lograr obtener el nivel de servicio de la intersección permitiendo así, encontrar la incidencia vehicular en la misma.

6.2. TIPO DE INVESTIGACION

La investigación es de tipo comparativo-evaluativo, ya que mediante este se lograra hacer una comparación por medio de la modelación, del estado actual de la intersección y el estado probable que podría llegar a tener a futuro llegando a cumplir el objetivo el cual es proponer una alternativa adecuada para la congestión vehicular.

6.3. FASES DE LA INVESTIGACION

El proyecto abarco tres fases, las cuales se detallan a continuación:

Fase 1: Capacidad y Nivel de Servicio

ACTIVIDADES

- 1.1 Caracterizar la zona a evaluar.
- 1.2 Realizar inventario de señalización (fotos, planos).

- 1.3 Recopilar datos de aforos vehiculares, ciclos y fases semafóricos
- 1.4 Determinar la capacidad de la intersección actualmente.
- 1.5 Identificar el nivel de servicio en el que se encuentra la intersección.

Fase 2: Análisis de alternativas de solución

ACTIVIDADES

- 2.1 Establecer gráficamente las alternativas en la intersección.
- 2.2 Ventajas y desventajas de los 3 tipos de solución
- 2.3 Seleccionar la alternativa con mayor margen de solución.

Fase 3: modelación a partir de las soluciones:

ACTIVIDADES

- 3.1 Modelación en software Synchro.
- 3.2 Evaluar el nivel de servicio y capacidad de la intersección actual.
- 3.3 Comparar el nivel de servicio y capacidad actual con respecto a la proyección a 20 años.

7. RESULTADO Y ANALISIS

7.1. NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN

7.1.1. Caracterizar la zona de estudio

La avenida Caracas es una de las principales vías de la Ciudad de Bogotá; es de tipo V-1 según el POT 2004 de la ciudad de Bogotá, está conformado por ocho carriles, estando 4 carriles en pavimento flexible y 4 carriles en pavimento rígido, 4 carriles operan en sentido Norte-Sur y 4 Sur-Norte, 4 carriles están destinados para el uso exclusivo del sistema de transporte Masivo Transmilenio, la Avenida Caracas está clasificada como malla vial arterial con calles semaforizadas con giros permitidos.

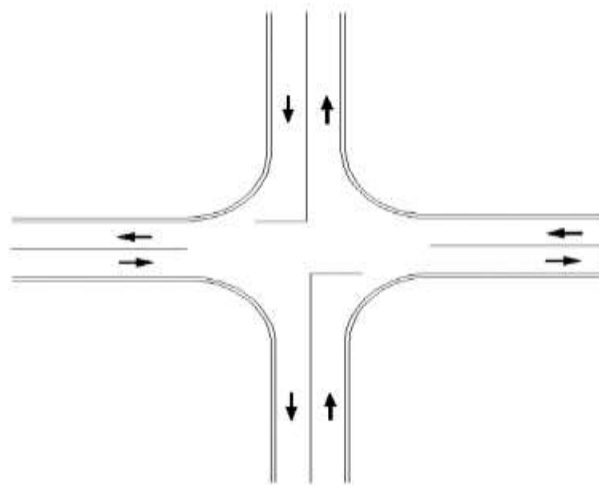
La calle 53 es una de las vías principales complementarias de la ciudad de Bogotá; es de tipo V-3 determinado por el POT 2004 de la ciudad de Bogotá, está conformado por 4 carriles, los cuales están conformados por pavimento flexible, los carriles operan en sentido oriente-occidente y viceversa. Ambas avenidas no presentan condiciones de fallas estructurales, pese a la enorme demanda que debe albergar. La determinación del estado de la capa de rodadura se logró mediante la observación de la zona de estudio.

Las estaciones de Transmilenio están ubicadas en el separador central sobre la Av. Caracas. Las estaciones ubicadas en las cercanías de la intersección son la estación Calle 57 y la estación Marly, están distanciadas una de la otra aproximadamente 430 metros.

7.1.1.1. Tipo de intersección

El tipo de intersección que se presenta en la zona de estudio es de 4 ramales, especialmente se clasifica en intersección en cruz que por lo general los ramales tienden a formar un ángulo mayor a los 60°, con direcciones perpendiculares en el cual se presenta un cruce entre dos vías importantes como lo es la Av. Caracas y la Calle 53.

Figura 11. Intersección tipo cruz



Fuente: <http://www.wikivia.org/wikivia/images/5/5e/Cruz.png>

La inspección vial de la intersección de la Av. Caracas con calle 53 permite identificar el diseño el cual es en forma de cruz, con semaforización en todos los cruces, no presenta giros a la izquierda, presenta separadores para el guarde de los peatones entre carriles pero no presenta entre carril de vehículos particulares y carril de Transmilenio, en la siguiente figura se mostraran con detalles los carriles en la intersección.

Figura 12. Interseccion de estudio



Fuente: Elaboración propia

7.1.1.2. Edificaciones alrededor

Esta zona, según el POT 2004, se denomina comercial, debido a que se encuentran ubicados establecimientos los cuales tienen como fin ofrecer productos y servicio al consumidor.

El edificio Éxito ubicado al sur-orienté de la intersección es uno de los establecimientos con mayor importancia en esta zona debido a que concentra una gran cantidad de consumidores, este cuenta con un parqueadero único de plataforma en sótano, tiene entrada única para vehículos pesados de carga y descarga de mercancía por la calle 52.

El Ministerio de Justicia y Derecho, ubicado en la calle 53 con carrera 13 sobre el acceso 3, tiene parqueadero único, está sobre la calle 53 lo que es motivo para los conductores a realizar maniobras para ingresar o salir del edificio.

Intersección Carrera 14 con Calle 53, Edificio Éxito a la derecha de la imagen



Fuente: Propia

7.1.2. Inventario de señalización

Las siguientes fotografías se observa los accesos, el transporte urbano, señalización de las vías, el flujo vehicular y peatones que se encuentran en la intersección estudiada.

Acceso oeste – vista hacia el oriente de la intersección



Fuente: propia

Acceso norte – vista hacia el norte de la ciudad



Fuente: propia

Acceso este – vista hacia el occidente de la intersección



Fuente: propia

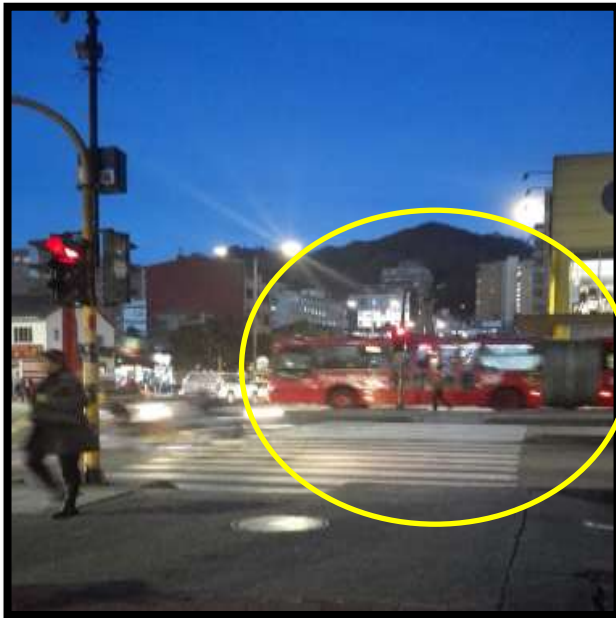
7.1.2.1. Transporte que se encuentra en la zona de estudio.



Fuente: propia

Se logró ver que en la intersección transitan vehículos tipo bus en los accesos 3 y 4, estos vehículos son del sistema de transporte integrado público (SITP), estos vehículos generan en ocasiones truncamientos debido a la parada que hay cerca de la 13 en el acceso 3.

Transmilenio en la intersección



Fuente: propia

Cerca de las intersecciones se encuentran los paraderos de Transmilenio, Al sur con la parada Marley y al norte con la parada Calle 57. Estos vehículos tienen una frecuencia de 8 minutos aproximadamente.

7.1.2.2. Señalización de la intersección



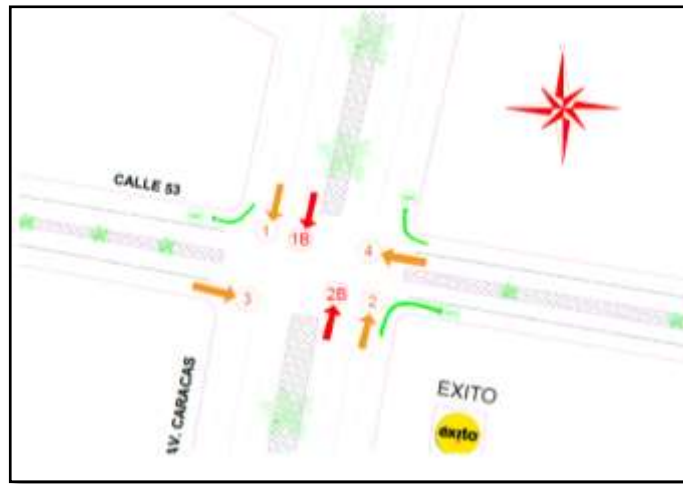
Fuente: propia.

En la intersección de la Calle 53 con avenida Caracas se encuentran los tres tipos de señales verticales que son, las señales preventivas, reglamentarias e informativas que se encuentran en el tramo de estudio, también se encuentra señalización vertical (vertical elevada) y horizontal, a continuación se presenta este levantamiento realizado in situ con su respectiva representación gráfica.

7.1.2.4. Esquema de la intersección

La siguiente figura ilustra los movimientos que presenta la intersección estudiada, hay que tener en cuenta que en la intersección no tiene giros a la izquierda debido a que no son permitidos.

Figura 15. Movimientos en la intersección



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Movimientos permitidos en la intersección

ACCESO	MOVIMIENTO	CODIGO
NORTE	Directo	1
	Directo TM	1B
	Giro a la Derecha	9(1)
SUR	Directo	2
	Directo TM	2B
	Giro a la Derecha	9(2)
OESTE	Directo	3
ESTE	Directo	4
	Giro a la Derecha	9(4)

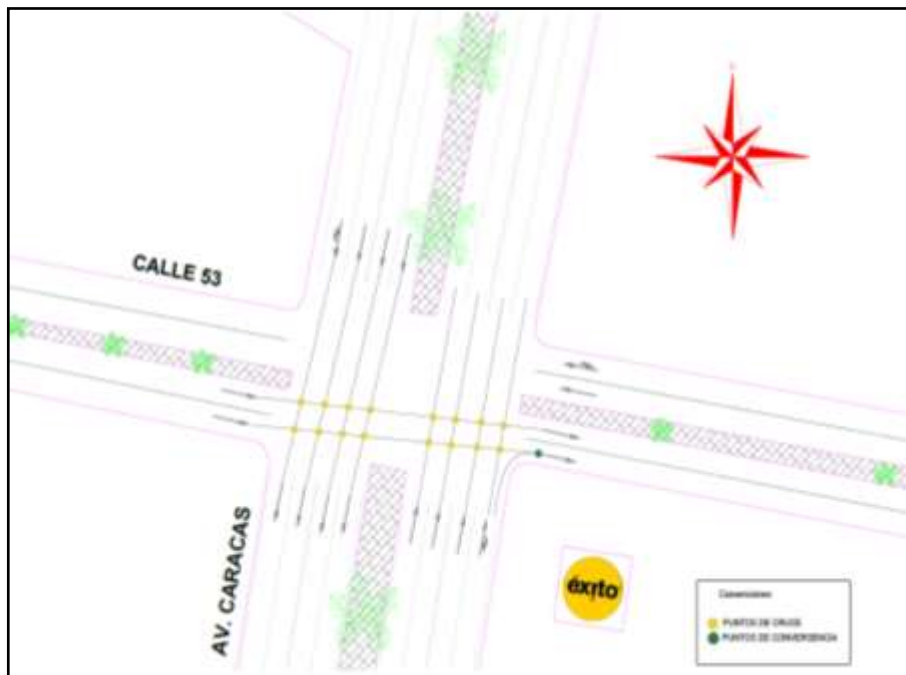
Fuente: Elaboración propia

Se identificaron los giros a la derecha, en los accesos norte, sur y este. En el acceso oeste, el giro a la derecha es prohibido, dejando solo como ruta en dirección directa sin posibilidad de maniobrar en otra dirección, se clasificaron los movimientos 1B Y 2B a los carriles de Transmilenio los cuales solo tiene posibilidad de seguir un trayecto directo, tanto Norte-Sur como Sur-norte.

7.1.2.5. Puntos de conflicto en la intersección

Está definido como los puntos de trayectoria donde se da la probabilidad de accidente en las intersecciones cuyos conflictos pueden estar relacionados por maniobras de convergencia, maniobras de divergencia y maniobras de cruce.

Figura 16. Puntos de conflicto en la intersección



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se puede observar el conflicto que se genera entre los movimientos 1, 1B, 2 Y 2B con el movimiento 3 o entre Grupos de carril 1 y 2 con

el 3, a causa de la saturación. En la siguiente imagen, se observa como los vehículos quedan truncados sobre el carril de Transmilenio, generando congestión en la intersección.

Conflicto entre movimientos en la intersección

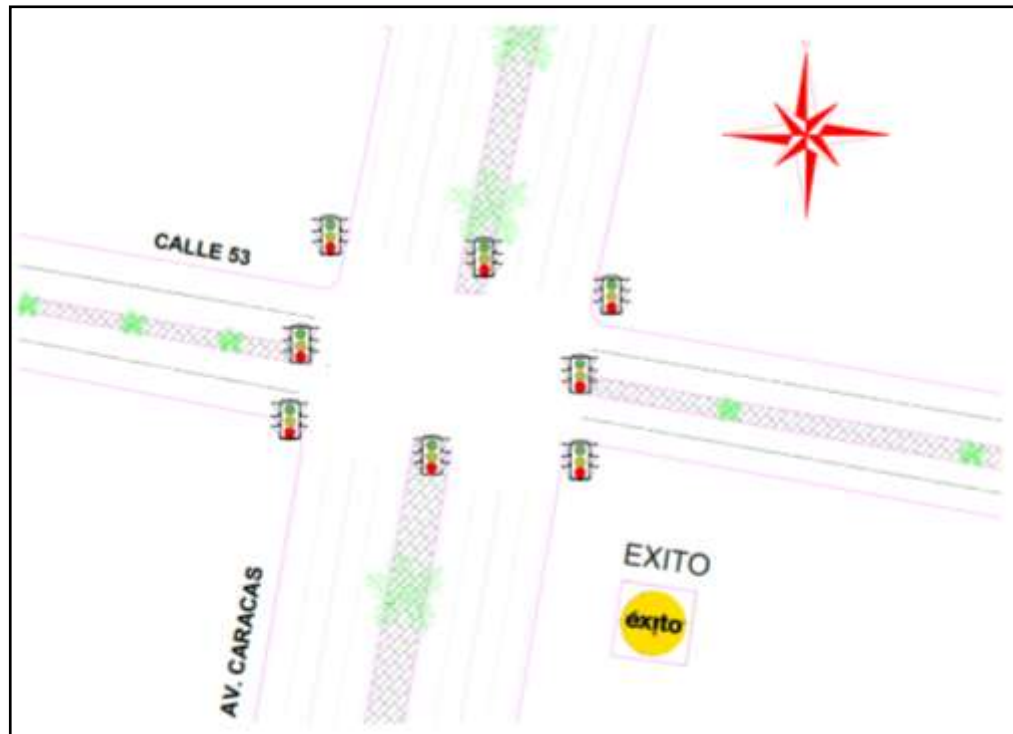


Fuente: Propia

7.1.2.6. Semaforización

La semaforización de vías o en intersecciones, es una actividad principalmente para que el tráfico funcione con menores demoras posibles, cuando la intensidad de tráfico en una intersección es mayor a la admisible de preferencia de paso. La regulación con semáforos permite comparar la situación con un nivel de servicio bueno, aunque se pueden ver alguna demora a los vehículos que acceden a la intersección.

Figura 17. Semaforización en la intersección



Fuente: Elaboración propia

En la intersección de estudio, se verificaron in situ la ubicación y duración de los semáforos tanto para los ciclos como para las fases en cada uno de los movimientos, en la siguiente tabla se ilustra los diferentes tiempos de cada semáforo en la intersección.

Tabla 10. Movimientos de la intersección con los ciclos semafóricos

		TIEMPO (seg)			
		VERDE	AMBAR	ROJO	AMBAR
MOVIMIENTO 1	1	59,78	2,93	55,67	1,63
	2	59,12	2,55	55,73	1,69
	3	59,18	2,64	55,79	1,67
PROMEDIO		59,36	2,71	55,73	1,66
MOVIMIENTO 2	1	58,12	2,55	56,20	1,83
	2	58,34	2,90	56,13	1,90
	3	58,78	2,50	56,15	2,00
PROMEDIO		58,41	2,65	56,16	1,91

MOVIMIENTO 3	1	42,10	2,49	73,10	1,89
	2	43,10	2,80	73,10	1,89
	3	42,20	2,70	73,10	1,89
PROMEDIO		42,47	2,66	73,10	1,89
MOVIMIENTO 4	1	42,60	2,40	73,05	1,80
	2	42,70	2,80	73,10	1,80
	3	42,50	2,70	73,19	2,00
PROMEDIO		42,60	2,63	73,11	1,87

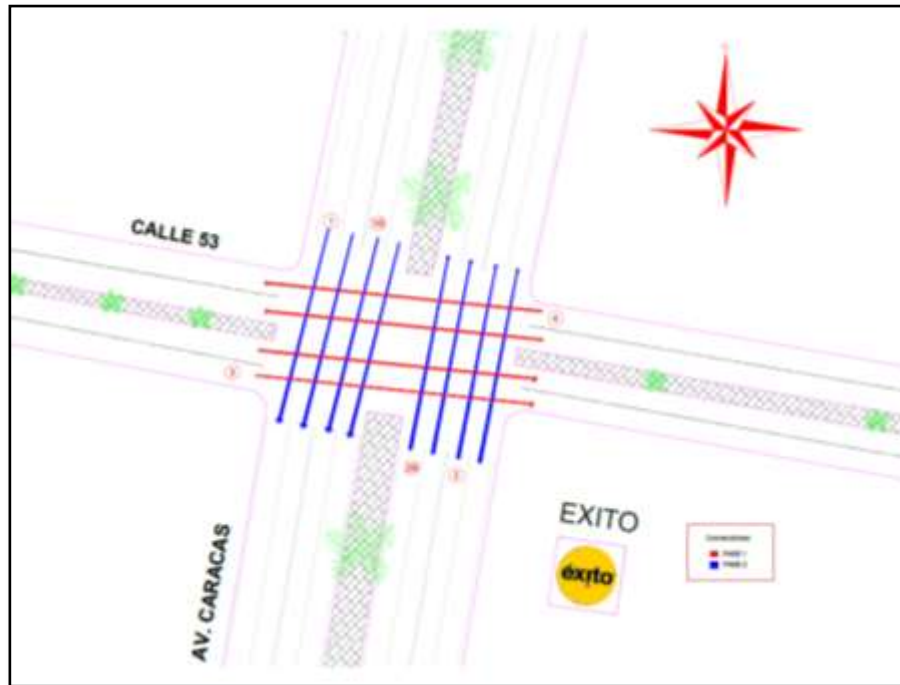
Fuente: Elaboración propia

Lo anterior muestra los ciclos semafóricos que se presentan en cada movimiento, datos tomados in situ.

La intersección de estudio esta contralado con 2 fases semafóricas con un ciclo de 120 segundos, estas fases son:

- a. La fase 1 comienza con los movimientos (1) y (2) con una duración en luz verde de 59 segundos antes de que se haga en cambio a ámbar de 3 segundos y después empieza con una duración de luz roja de 56 segundos, para después tener un ámbar de 2 segundos y empezar la fase nuevamente; cuando los movimientos (1) y (2) hacen el cambio de verde a ámbar, los movimientos (3) y (4) duran 7 segundos más en luz roja antes de hacer el cambio a ámbar.
- b. La fase comienza con los movimientos (3) y (4) con una duración en luz verde de 43 segundos antes de que se haga en cambio a ámbar de 3 segundos y después empieza con una duración de luz roja de 73 segundos, para después tener un ámbar de 2 segundos y empezar la fase nuevamente; cuando los movimiento (3) y (4) hacen el cambio de verde a ámbar, los movimientos (1) y (2) duran 8 segundos más en luz roja antes de hacer el cambio a ámbar

Figura 18. Fases de la intersección



Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Aforos vehiculares, ciclos y tiempos semafóricos

7.1.3.1. Toma de información

Con la información tomada in situ, se puede conocer el flujo vehicular, los volúmenes y la capacidad de la intersección actual, esta información es recopilada en aforos sobre la intersección de la Carrera 14 con calle 53, los días 6 y 7 de julio del 2016, en el transcurso del día a partir de las 6:30 am hasta las 7:30 pm con conteos de 15 minutos, La información recolectada se hizo en comparación con la información otorgada por la empresa TPD & ICOVIAS; CONSORCIO MOVILIDAD BOGOTA 2015, los cuales fueron generados el día 5 marzo del 2016. Estos volúmenes propios manejan mayores volúmenes que los datos otorgados por la empresa en consorcio. El procesamiento de la información tiene como fin lograr estimar el nivel de servicio de la intersección y así poder realizar la evaluación y el diagnóstico para formular las alternativas al problema.

7.1.3.2. Organización de la información

La información recolectada (anexo 1, de hojas se organizó según los parámetros establecidos anteriormente en hojas de Excel), mediante un formato elaborado, donde se tendrán en cuenta los volúmenes para los siete (7) movimientos.

Tabla 11. Formato de aforo vehicular para la intersección

ESTUDIO DE VOLUMENES VEHICULARES EN LA INTERSECCION DE ESTUDIO									
INTERSECCION DE ESTUDIO		CALLE 53 CON AV. CARACAS							
FECHA	06-jul-16	HORA INICIO						HORA FINAL	
MOVIMIENTO AFORADO		1		1		ACCESO		NORTE	
LONGITUD					LATITUD				
CONDICION CLIMATICA									
CROQUIS (M1) INTERSECCION CALLE 53 CON AV. CARACAS									
PERIODO	VEHICULOS AFORADOS			TOTALES EQUIVALENTES		VOL. HORARIO MAX. DEMANDA			
CADA 15 MIN	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	ARTICULADO - BIARTICULADO	TOTAL MIXTO	TOTALES MIXTO EQUIVALENTES	TOTAL HORA	VHMD	INCI . %
6:30 - 6:45									
PERIODOS MAXIMA DEMANDA VEHICULAR									
TOTALES									
PERIODO MAÑANA						VHMD (MAÑANA)		FHMD15	
PERIODO TARDE						VHMD (TARDE)		FHMD15	
HORA PICO									

Fuente: Elaboración propia

En este formato, está la información tanto básica como detallada de la intersección, en cuanto a la interpretación y cálculo de variables los cuales permitirán realizar el estudio de la intersección.

- Intersección de estudio, Fecha de aforo, Hora de inicio y final, movimiento aforado, acceso, longitud y latitud y condición climática
- Periodo de tiempo de aforo: donde se toma cada 15 minutos.

- Vehículos aforados: estos se clasifican en liviano, buses y camiones.
- Total de equivalentes: Es la conversión de los buses y camiones a livianos para tener conocimiento aproximado de cuantos vehículos están utilizando el tramo carril, durante todo el periodo de estudio, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_{eq} = V_{liv} + (V_{bus} * F_b) + (V_{cam} * F_c) \quad (23)$$

F_b y F_c: factores de conversión equivalentes a 2 para buses y 2.5 para camiones.

- Totales hora: es la suma total de los vehículos equivalentes dados en una hora, es decir tomar cuatro datos y sumarlos, este sería entonces el volumen horario máximo de demanda que se puede dar en la intersección.
- Volúmenes Horarios: esta información indica los valores de volúmenes que se presentan cada hora en la intersección con los porcentajes y su incidencia, para poder determinar e comportamiento tanto en la mañana como en la tarde para las horas pico.
- Totales: es la sumatoria de todos los vehículos aforados y su porcentaje de participación.

7.1.3.3. Resultados

Para cada uno de los movimientos, se calculó la cantidad máxima de vehículos diaria a partir del tiempo establecido el cual es de 6:30 am a 9:30 am y de 4:30 pm a 7:30 pm (ver anexo 1), a continuación la cantidad de vehículos que transitan por la intersección en el tiempo aforado.

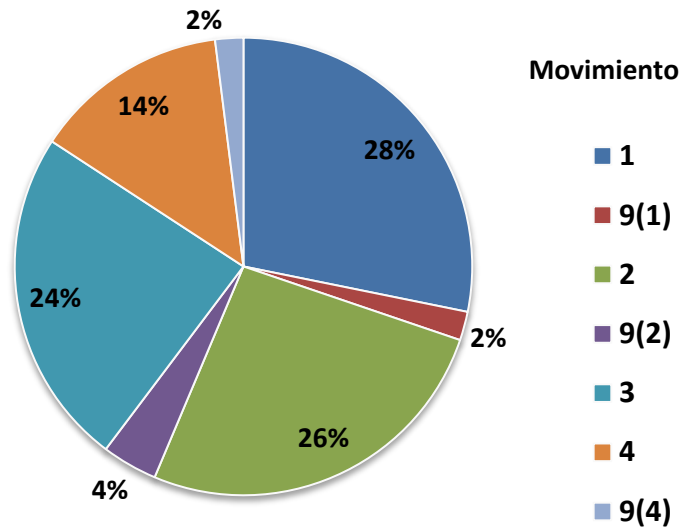
Tabla 12. Volúmenes vehiculares de la intersección objeto de estudio

Movimiento	Vehículos/día
1	9028
9(1)	650
2	8371
9(2)	1258
3	7664
4	4421
9(4)	638
Total	32030

Fuente: Elaboración propia

Para esta intersección se realizó una gráfica con la incidencia en porcentaje que cada movimiento con sus vehículos aforados.

Gráfico 1. Porcentaje de volúmenes vehiculares por movimientos

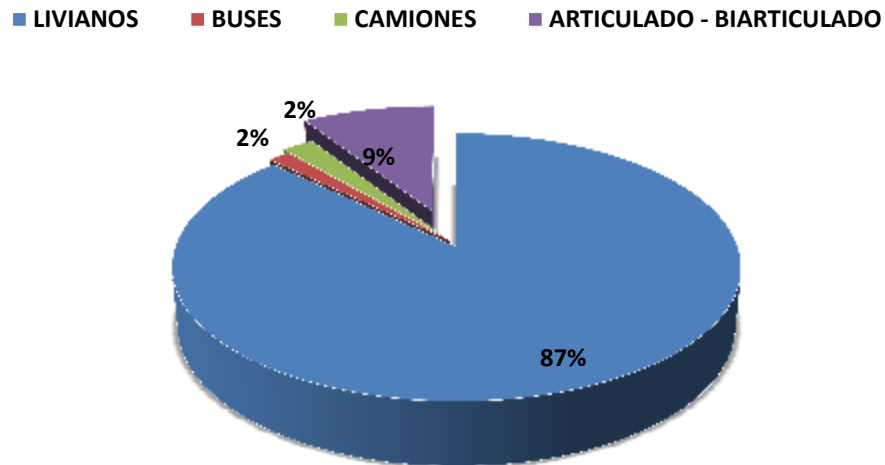


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica, el movimiento 1 (Norte-sur) es el de mayor incidencia vehicular en la intersección con un 28%, seguido por el movimiento 2 (sur-norte) con un 26%, y con un 24% está el movimiento 3 (este-oeste) y con minoría están los movimientos con giro a la izquierda un rango entre 2% y 4%.

Lo que concluye que el movimiento 1 es el de mayor incidencia debido a que la mayoría de personas que viven en el norte generan su viaje posiblemente al trabajo o estudio.

Grafico 2. Porcentaje total de vehículos en la intersección

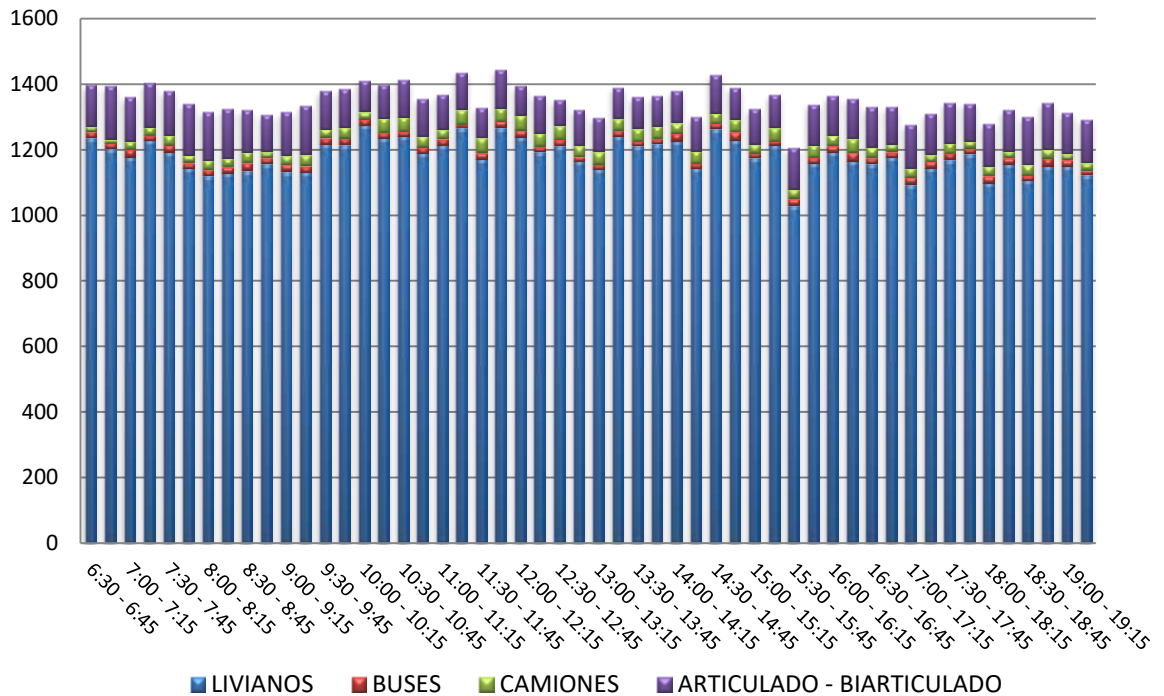


Fuente: Elaboración propia

En la intersección la mayoría de vehículos que transitan son vehículos livianos con un porcentaje de participación de 89.55%, seguido de los articulados y biarticulados del sistema de transporte masivo de Transmilenio con un 6%, un un 3% de camiones y un 2% de buses, el porcentaje de buses es bajo debido a que la troncal de Caracas cuenta con Transmilenio siendo este el medio único de transporte publico pesado, aunque la calle 53 si cuenta con buses tales como el SITP, no representan estos números mayores.

En la siguiente grafica se indica la variación que tiene la intersección con respecto a los movimientos en términos de composición vehicular en el periodo de estudio realizado.

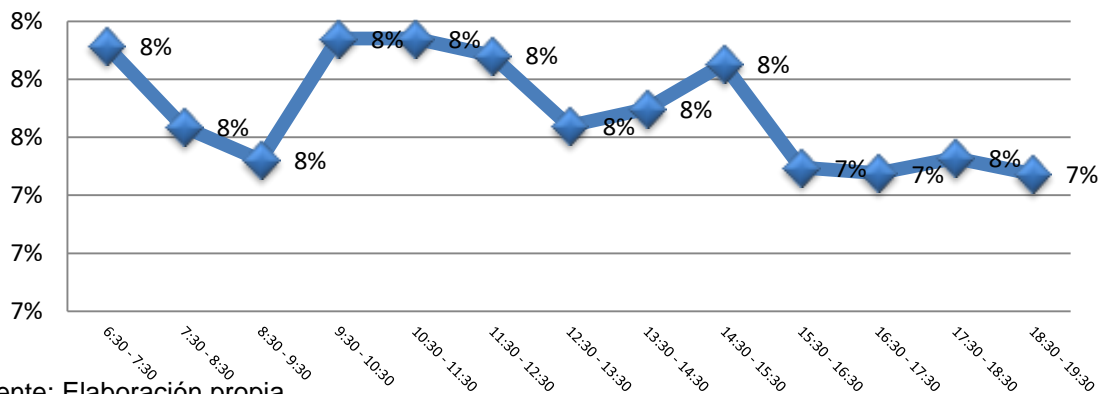
Gráfico 3. Composición vehicular por movimientos totales



Fuente: Elaboración propia

Para conocer las horas con mayor tránsito vehicular, se precisó conocer el porcentaje de incidencia de los volúmenes por hora, donde se indica el periodo de máxima circulación tanto en la mañana como en la tarde y poder representar estos picos de volúmenes durante el periodo evaluado, donde se ve como en la hora de la mañana el pico máximo se da 6:30 am a 7:30 am con un 18%.

Gráfico 4. Variación horario volúmenes vehiculares en la intersección



Fuente: Elaboración propia

El volumen horario de máxima demanda (VHMD) que se presenta en la intersección, según la tabla resumen de aforos vehiculares, es de 6:45 am a 7:45 am con un total de 5545 Veh/hora, así a continuación se presentaran la cantidad de vehículos que transitan para cada movimiento en la hora de máxima demanda.

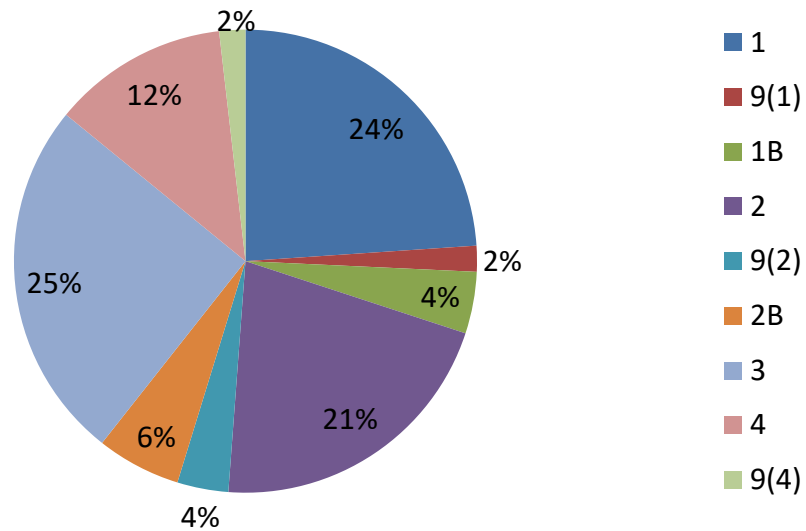
Tabla 13. Cantidad de vehículos que transitan por movimiento en hora pico

Movimiento	Veh/hora
1	1327
9(1)	100
1B	239
2	1172
9(2)	198
2B	326
3	1401
4	681
9(4)	101
TOTAL	5545

Fuente: Elaboración propia

El movimiento 3 es el que cuenta como mayor volumen horario con 1401 Veh/hora, este volumen supera a los movimientos 1 y 2 los cuales están capacitados para transitar volúmenes como los que se obtuvieron en los aforos, y el de menor volumen vehicular es el movimiento 9(1) con 100 vehículos por hora. En la siguiente grafica se representan los volúmenes de cada movimiento con respecto a la hora pico anteriormente mencionado en porcentaje.

Grafico 5. Porcentaje vehicular periodo hora pico

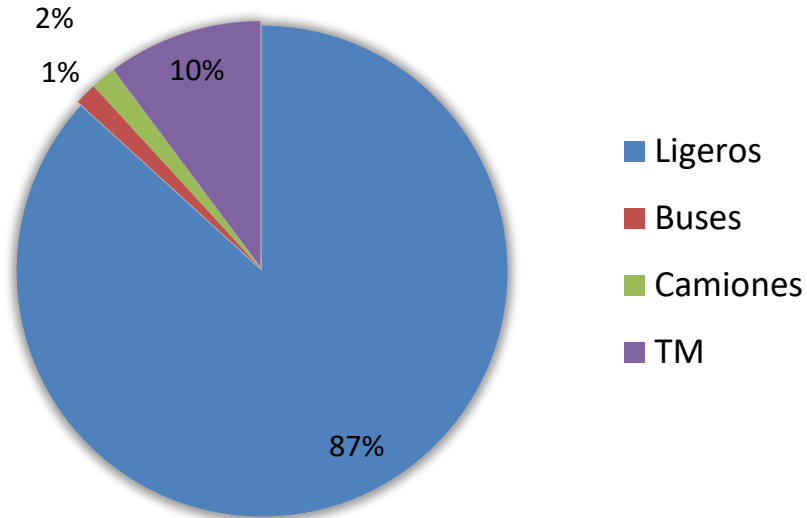


Fuente: Elaboración propia

Donde el volumen 3 representa el 25% del volumen de la intersección en la hora pico, y el movimiento 1 es un 24% seguido del movimiento 2 con un 21%, y con un 12% el movimiento 4 interfiere en el volumen total de la intersección, así los giros a la derecha solo representan no poco más del 10%, el volumen 3, determina toda la intersección y es donde se observa el mayor problema en la intersección.

Los factores que causan posiblemente que el volumen se presente en la hora de mayor circulación pueden atribuirse a que el residente se dirige a la hora de entrada a su labor o su estudio, el cual normalmente es de 6:30 a 8:00 am, en la siguiente grafica se observa que los vehículos ligeros intervienen en un 87% en la hora pico mencionada anteriormente, seguido de un 10% por el sistema de transporte masivo Transmilenio sabiendo que estos también equivalen a un camión pesado y con un 2% para los camiones, el 1% restante es de buses.

Grafico 6. Composición vehicular en hora pico



Fuente: Elaboración propia

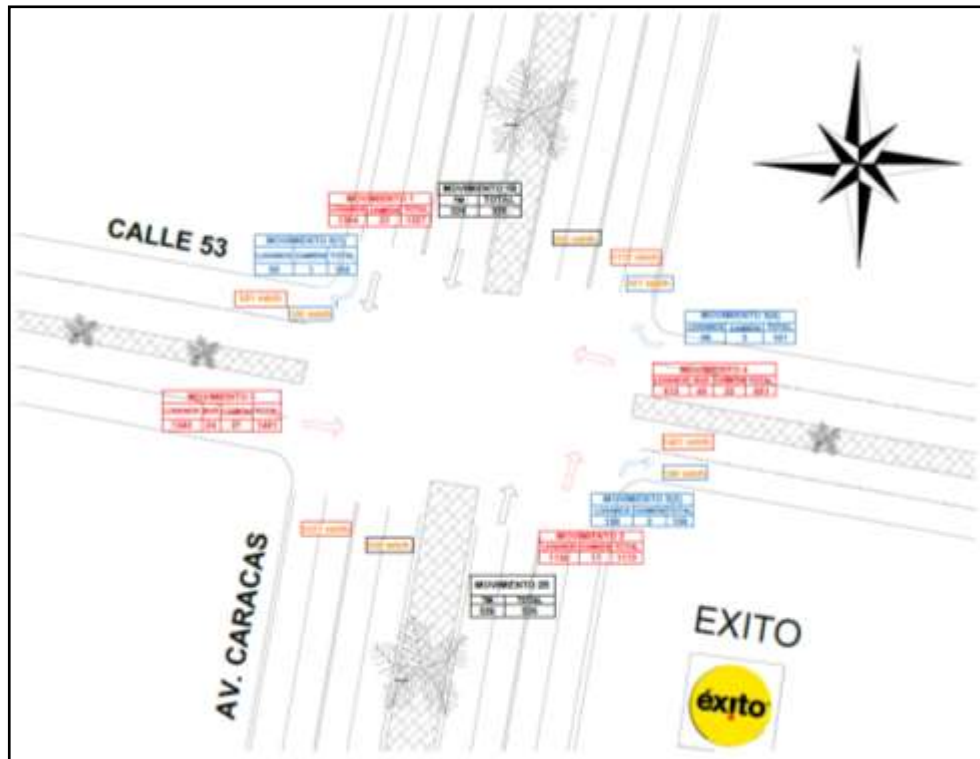
La siguiente tabla muestra la composición vehicular que presenta la intersección en la hora pico (6:45 – 7:45 am); así se observa como el movimiento 3 contribuye con vehículos ligeros en la intersección inclusive más que los movimientos 1 y 2 siendo estos, los movimientos que están sobre la troncal de Caracas.

Tabla 14. Composición vehicular hora pico

Movimiento	Vehículos (6:45 - 7:45)				TOTAL
	Livianos	Bus	Camión	TM	
1	1304	0	23	0	1327
1B	0	0	0	239	239
9(1)	99	0	1	0	100
2	1155	0	17	0	1172
2B	0	0	0	326	326
9(2)	196	2	0	0	198
3	1340	34	27	0	1401
4	619	40	22	0	681
9(4)	98	3	0	0	101

Elaboración propia

Figura 20. Composición vehicular en hora pico (6:45-7:45a.m)



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se exhibe los valores utilizados para calcular el F.H.P de la intersección en la hora pico.

Tabla 15. Determinación del factor de hora pico en el periodo de hora crítico

	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	TM	TOTAL MIXTO	TOTAL EQUIV	TOTAL HORA
6:45 - 7:00	1205	18	11	163	1397	1676	6607
7:00 - 7:15	1180	24	24	134	1362	1623	
7:15 - 7:30	1232	14	26	133	1405	1658	
7:30 - 7:45	1194	23	29	135	1381	1650	
TOTAL	4811	79	90	565	5545	6607	

Vol. Total	6607	Vol.Max	1676	F.H.P	0.99
------------	------	---------	------	-------	-------------

Elaboración propia

El valor calculado corresponde a los valores estimados para vías urbanas con un flujo alto según la Highway Capacity Manual, encontrándose entre 0.92 y 1.

Se obtuvo para la hora máxima de demanda vehicular, un F.H.P de 0.99, el cual quiere decir que el volumen que transita en estos 4 periodos de 15 min, no varía mucho en el transcurso de la hora, esto se puede observar en la columna de total equivalentes es decir el promedio para esta hora es de 1652 Veh/15 min, es decir, en esta hora no se generan cambios críticos, el volumen de tráfico es alto pero uniforme en la hora critica; así el mayor flujo se presenta de 6:45 a 7:45 con un total de 1676 vehículos.

7.1.4. Capacidad de la intersección actualmente

El problema de congestión, se fundamenta especialmente en la capacidad de la misma y del nivel de servicio; para calcular estos valores se utilizó la metodología establecida por el HCM 2010, determinando la saturación y las demoras, esto para la hora máxima de demanda vehicular en la intersección.

La capacidad (C) se evalúa en términos de volúmenes reales y el máximo número de vehículos que puede llegar a saturar la intersección, y las demoras por manejo y operación de semáforos, tiempos de rojo y arranque y desaceleración se define como el nivel de servicio (NS).

Para poder realizar el análisis de congestión en la intersección se deben tener en cuenta las condiciones geométricas, de tráfico y de semaforización resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 16. Parámetros requeridos para el análisis de operación en una intersección

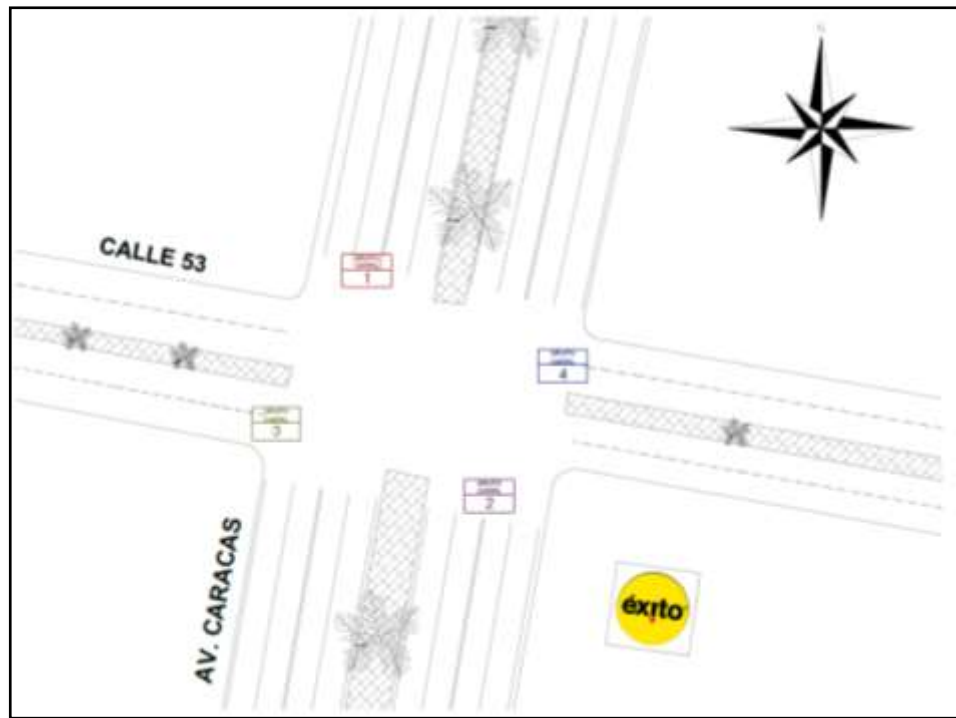
Condición	Parámetro
Geométrica	Número de carriles
	Ancho de carriles
	Inclinación de los accesos
	Carriles de estacionamiento
	Carriles exclusivos y/o compartidos
Trafico	Grupo de carriles
	Volumen vehicular aforado
	porcentaje de vehículos
	Factor de hora pico
	paradas de buses
	Tipo de área
	Giros a la derecha y/o izquierda
	Volumen de peatones
	Volumen de ciclistas
Semaforización	Ciclo semafórico
	Tiempo de verde efectivo
	Numero de ciclos por hora
	Proporción de verde efectivo

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.1. Grupo Carril

Como primer parámetro para poder evaluar y clasificar la intersección, se determinaron los grupos carriles, estos basados en los movimientos de la intersección y el uso del carril. A la vez se establecieron los volúmenes horarios de diseño (VHD) con los datos obtenidos en el cálculo de Excel (ver anexo 1). A continuación la clasificación de los grupos de carriles en la intersección.

Figura 21. División de Grupos Carriles en la intersección



Fuente: Elaboración propia

En el anexo 2. Calculo de capacidad y determinación del nivel de servicio actual de la intersección, se encuentra consignados los parámetros de tráfico, donde se puede ver como se clasificaron los volúmenes por grupo carril en el horario pico (6:45 – 7:45), basado en los movimientos, los carriles de Transmilenio 1B Y 2B se agruparon a los grupos carril 1 y 2, los volúmenes de los giros a la derecha fueron compartidos con los movimientos rectos.

A continuación se puede ver la clasificación de los volúmenes finales por grupo carril sabiendo que los movimientos 1 y 2 son compartidos por los movimientos 9(1) y 9(2), a su vez con los movimientos 1B y 2B siendo estos del sistema masivo de transporte Transmilenio.

Tabla 17. Determinación de grupo carril por movimientos

SUMA POR GC POR HORA			
GROPO CARRIL	LIVIANOS	PESADOS	TOTAL
GC 1 = MOV 1, 1B Y 9(1)	1403	263	1666
GC 2 = MOV 2, 2B Y 9(2)	1351	345	1696
GC 3 = MOV 3	1340	61	1401
GP 4 = MOV 4 Y 9(4)	717	65	782

Fuente: Elaboración propia

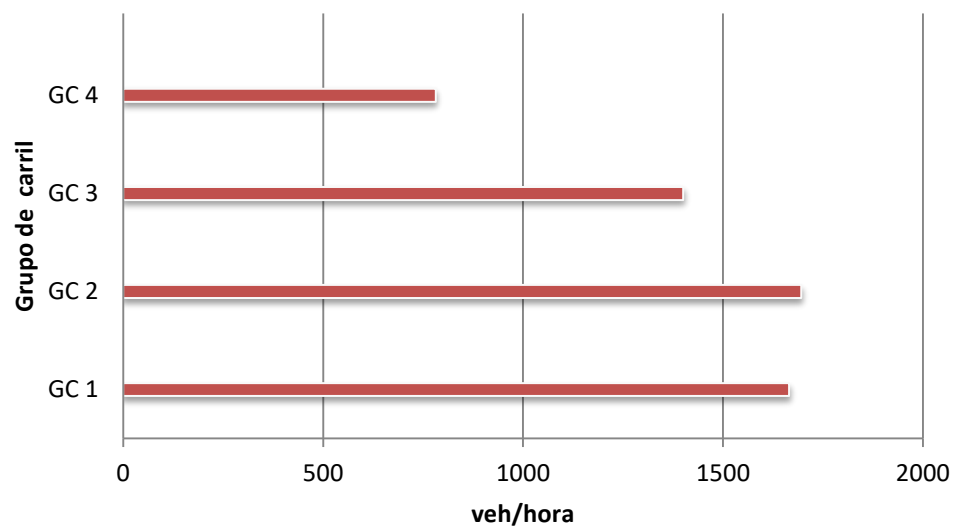
Se observa para el movimiento 3 que pese a que es un movimiento único, maneja un alto volumen vehicular en comparación a los movimientos 1 y 2, teniendo en cuenta que también se tiene en cuenta el sistema de transporte masivo Transmilenio para estos movimientos, el movimiento 4, no presenta un volumen tan alto en comparación con el volumen 3 el cual es de 1401 veh/ hora debido a que en la hora pico mucha gente probablemente se dirige hacia el centro de la ciudad sin tener que transitar por esta calle, en la siguiente imagen se ilustraran los volúmenes por grupo carril.

Figura 22. Volúmenes vehiculares por grupo carril



Fuente: Elaboración Propia

Grafico 7. Volúmenes vehiculares por grupo carril



Fuente: Elaboración propia

7.1.4.2. Saturación

Para la determinación de la intensidad de saturación (s), siendo este fundamental para poder determinar la capacidad, es necesario definir los factores anteriormente ya mencionados con respecto a la intersección, estos ya están definidos en el anexo 2. Calculo de capacidad y determinación del nivel de servicio.

A continuación, los vehículos livianos y pesados con su respectivo porcentaje para cada grupo carril.

Tabla 18. Volúmenes vehiculares por grupo de carriles

Numero de Grupo de Carril	GC1	GC2	GC3	GC4
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
A. Volúmenes				
Veh/Hora (17:00 -18:00) volumen de diseño	<u>1666</u>	<u>1696</u>	<u>1401</u>	<u>782</u>
Veh livianos/Hora	1403	1351	1340	717
Porcentaje de participación (%)	84%	80%	96%	92%
Veh Pesados/Hora	263	345	61	65
Porcentaje de participación (%)	16%	20%	4%	8%
Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo	0.90	0.90	0.96	0.95

Fuente: Elaboración Propia

En la intersección, los camiones no superan el 20% de volumen total por carril caso tal como GC 2 con 345 vehículos, en el movimiento 1, la composición de volumen no varía con respecto al GC 2, puesto que el porcentaje de participación es del 16% con 263 vehículos, a diferencia de los GC 3 Y 4, los cuales no tienen participación por parte de Transmilenio, solo tienen un 4 y 8%.

Cabe explicar que no todos los vehículos pesados para los movimientos 1 y 2 son camiones, debido a que en la totalidad los vehículos son del sistema integrado de transporte público, en la siguiente tabla se observa los porcentajes con detalle de los vehículos camiones y Transmilenio para cada grupo carril.

Tabla 19. Porcentaje de camiones y Transmilenio en la intersección

Grupo Carril	Movimientos	TM	Camiones
GC 1	Mov 1, 1B Y 9(1)	91%	9%
GC 2	Mov 2, 2B Y 9(2)	94%	6%
GC 3	Mov 3	0%	100%
GC 4	Mov 4 y 9(4)	0%	100%

Fuente: Elaboración Propia

Donde Transmilenio para el GC 1 representa en un 91% del volumen pesado y un 9% los camiones, para el GC 2 el 94% del volumen en la hora pico es Transmilenio y un 6 el cual está dividido en los movimientos 2 y 9(2), para los GC's 3 y 4 el volumen total en la hora pico es solo composición de camiones aunque no obstante, según la tabla 16 estos no superan a los 65 Veh/hora.

Se determinó, in situ las dimensiones de la intersección y los anchos de carril, los cuales son variables para poder determinar el factor de ajuste por ancho de carril (F_w) y tener en cuenta el factor de inclinación (F_g) para calcular la saturación en la intersección por grupo carril.

Tabla 20. Factor de ajuste por ancho de carril (F_w) y pendiente (F_g)

Numero de Grupo de Carril	GC1	GC2	GC3	GC4
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Número de Carriles (N)	4	4	2	2
Ancho del carril (m)	3.4	3.36	3.4	3.21
Factor de ajuste por unidad de Carril (F_w)	1	1	1	1
Factor de ajuste por inclinación (F_g)	1	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia

La determinación de F_w se estableció de acuerdo a lo mencionado y señalado en la tabla 1. Donde el promedio de ancho no supera los 3.92 y no baja de los 3 metros por carril, siendo 3.34 el promedio por carril en la intersección. Para el F_g por grupo carril es de 1 debido a que la intersección está en un terreno plano, sin inclinación sobresaliente.

De acuerdo con lo establecido en la HCM-2010, el factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento (Fp), debe ser de 1 si no hay estacionamientos que intervengan en el tramo, y para el factor de ajuste por buses que se detienen en la zona (Fbb), el valor es 1 debido a que en la intersección no tiene paradas cercanas, en cambio para el factor de tipo de área se tomó el valor de 0.90 para toda la intersección, ya que la zona es comercial y esto según la HCM-2010, tiene mayor afectación que otras zonas siendo 1 el de mayor afectación y 0 el de menor.

Tabla 21. Factor de existencia de carril, de ajuste por buses y por área para la intersección

Numero de grupo de carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Factor de estacionamiento (Fp)	1	1	1	1
Fac. de ajuste por autobuses (Fbb)	1	1	1	1
Factor ajuste por tipo de área (Fa)	0.9	0.9	0.9	0.9

Fuente: Elaboración Propia

Se calcularon los factores de ajuste por movimientos a la derecha e izquierda de peatones y ciclista en la intersección (FLpb y FRpb), siendo estos de valor 1 debido a que por motivos de aforo tiempos no se pudieron realizar, en la siguiente tabla se resume cada valor para cada grupo carril de la intersección.

Tabla 22. Factor de ajuste por movimiento a la derecha e izquierda para ciclistas y peatones

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Factor de ajuste por giro a la izquierda de peatones (FLpb)	1	1	1	1
Fac. de ajuste de giro a la derecha para peatones y ciclista (FRpb)	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Además, para el cálculo de la saturación, fue necesario conocer los valores de los factores de ajuste de giro a la derecha e izquierda vehicular (FRT, FLT), también fue

necesario conocer el factor de ajuste por utilización de carril, y el factor de ajuste por vehículos equivalentes que giran a la derecha.

Los valores para el factor por giro a la izquierda en la intersección es de 1, debido a que no se presentan giros a la izquierda, pero para los valores de giros a la derecha se tomó un valor de 0.92 para los grupos de carriles 1, 2 y 4 debido a que si presentan giros a la derecha, en el movimiento 3 el giro a la derecha está prohibido tal y como se muestra en la figura del levantamiento de señalización en la intersección, para el factor de ajuste por utilización de carril el valor es de 0.952, tomados de la tabla 2. Factores de ajuste por utilización de carriles, la siguiente tabla se presentan los valores de los factores ya mencionados en cada grupo carril.

Tabla 23. Factores de ajuste por giro a la derecha e izquierda para los vehículos y factor de ajuste por utilización de carril

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Factor ajuste por utilización de carril (FLU)	0.952	0.952	1	0.952
Factor de ajuste por giros a la izquierda (FLT)	1	1	1	1
Factor de ajuste por giros a la derecha (FRT)	0.92	0.92	1	0.92
Equivalente de vehículos que giran a la derecha (ER)	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Ya obtenidos todos los factores, la saturación para cada grupo carril es calculada, en la siguiente tabla se observan los vehículos por grupo carril mientras se dispone de luz verde efectivo en la intersección.

Tabla 24. Saturación por grupo carril en la intersección.

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Determinación de la saturación (s)	1349	1349	1644	1426
Saturación total de la intersección (Veh/h)	5769			

Fuente: Elaboración propia

Se puede analizar que para el grupo carril 3, el valor es mayor que los grupos de carriles 1 y 2 estando estos sobre malla vial principal, esto se debe a que los factores como el de giro a la derecha, factor que hace que el volumen vehicular para el grupo carril 3 sea mayor sin alternativa de poder girar a la derecha y el factor por grupo carril es solo por movimiento directo.

La información semafórica presentada en la tabla 10 , se tuvo en cuenta para la realización de la siguiente tabla.

Tabla 25. Información semafórica por grupo carril

Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Ciclo (c)	<u>120</u>	<u>120</u>	<u>120</u>	<u>120</u>
Tiempo de verde efectivo en segundos (g)	59	58	41	42
Numero de Ciclos por hora	30	30	30.0	30.0
Proporción de verde efectivo (g/c)	0.49	0.48	0.34	0.35

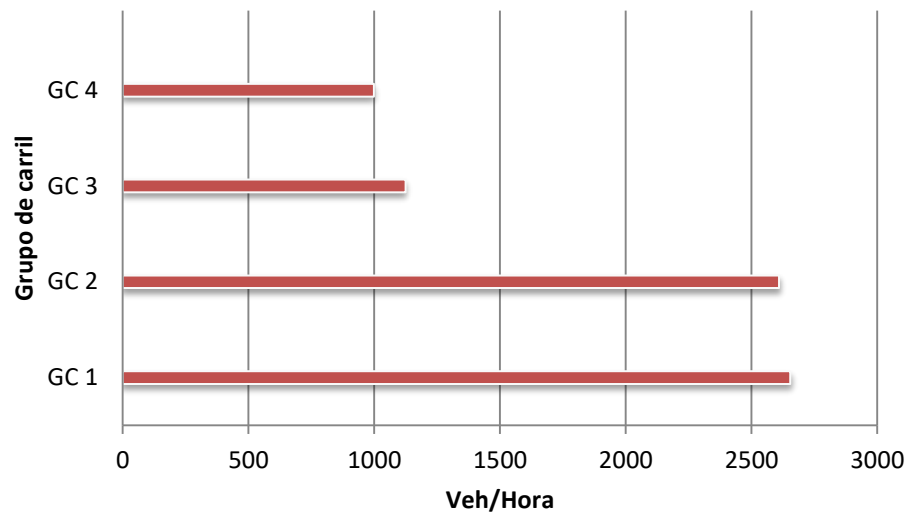
Fuente: Elaboración propia

La proporción de verde efectivo para el grupo carril 3 es el menor, lo cual no es muy competente para el grupo carril debido a que aumenta la espera en el semáforo y esto aumenta la congestión vehicular en la intersección.

7.1.4.3. Capacidad de la intersección

La capacidad definida anteriormente como la cantidad máxima de vehículos o unidades de tráfico que pueden pasar por un punto dado durante un determinado tiempo, es de suma importancia para poder calcular el nivel de servicio de la intersección, este se mide a partir del máximo volumen vehicular por grupo carril, en la siguiente gráfica se muestra la capacidad que teóricamente podrían transitar por la intersección

Grafico 8. Volúmenes vehiculares, capacidad actual de la intersección



Fuente: Elaboración propia

La capacidad para el grupo carril 2 en comparación con el volumen que presenta, es menor lo que genera congestión en dicho grupo carril. Con respecto a los grupos de carriles 1 y 2, presentan una capacidad donde supe al volumen de la intersección actual.

7.1.3.4. Demoras

Para poder determinar el nivel de servicio de la intersección, es necesario calcular las demoras que se presentan por cada grupo carril, así estas demoras están en proporción del verde (g/c), también a la demora por desaceleración, el tiempo de avance de la cola, entre otros.

Ya determinadas las demoras, se realizara una evaluación de todos los parámetros e indicadores presentados anteriormente por medio de la tabla 4. Determinación del nivel de servicio. La siguiente tabla se presenta la capacidad y el nivel de servicio por cada grupo carril y el de la intersección en general a partir del anexo 2. Capacidad y nivel de servicio.

Tabla 26. Demoras y nivel de servicio de los grupos de carril e intersección

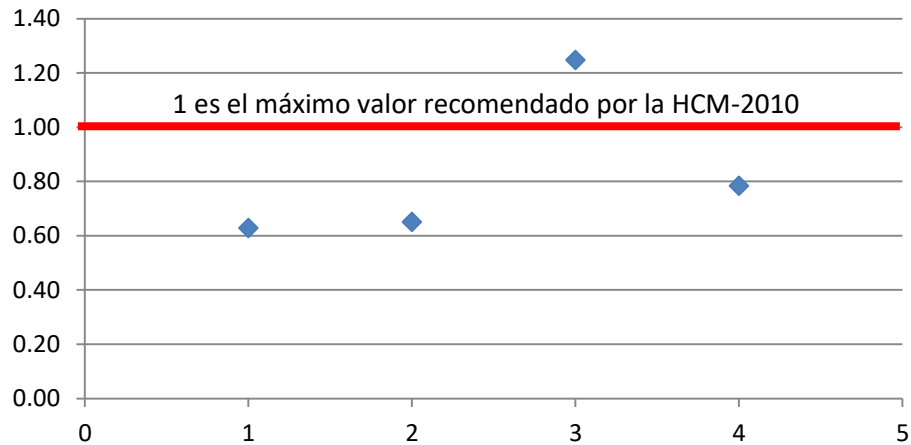
Numero de Grupo de Carril	GC1	GC2	GC3	GC4
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Veh/Hora (6:45-7:45) volumen de diseño	1666	1696	1401	782
Capacidad (c)	2654	2609	1124	998
Condición (C > VHD)	OK	OK	ATASCO	OK
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.63	0.65	1.25	0.78
Proporción de verde efectivo (g/C)	0.49	0.48	0.34	0.35
Demora uniforme (d1) (seg)	22	23	40	35
Factor de progresión (PF)	0.7	0.7	0.8	0.8
Demora incremental (d2) (seg)	0.1	7.2	134.1	0.6
Demora total por GC (d) (seg)	15	23	167	29
Nivel de servicio del grupo de carril	B	C	F	C
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.83			
Demora total (d) (seg)	59			
Nivel de servicio de intersección (NS)	E			

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 26, el nivel de servicio actualmente para la intersección se clasifica como E con una demora de 59 segundos promediados entre los 4 grupos carriles, , el grupo carril 3 (GC3) se encuentra en atasco en la hora pico con una demora total de 167 segundo, clasificado con un nivel de servicio F, esto probablemente a la proporción de verde efectivo el cual es de 0.34, lo cual lo identifica como un punto crítico para la intersección y para la competitividad en la fluidez vehicular de la misma, así a partir de esta determinación se podrá evaluar alternativas para mejorar esta situación.

En siguiente grafica se puede observar los valores relacionados entre volumen y capacidad (v/c) para cada uno de los grupos de carriles.

Grafico 9. Relación crítica de volumen vs capacidad por grupo de carril



Fuente: Elaboración propia

Se puede analizar que para el grupo carril 3 el cual está compuesto por solo el movimiento 3, la saturación supera el máximo valor teórico recomendado por la HCM-2010 el cual es de 1, señalado con una línea roja; por encima un 25%, lo que indica que el grupo carril esta sobresaturado, y para el grupo carril 4 compuesto por los movimientos 4 y 9(4) se acerca al valor teórico propuesto por la HCM-2010 con un valor de 0.79.

7.1.5. Nivel de servicio de la intersección actual

El nivel de servicio de la intersección actual, presenta una demora de 59 segundos, que resulta del promedio de las demoras y a la proporción de capacidad de los grupos de carriles en la intersección, con una clasificación del Nivel de servicio final de E.

Este nivel de servicio, técnicamente se genera debido a la saturación mencionada anteriormente en el grupo carril 3, teniendo como variables las fases semafóricas y las demoras las cuales intervienen en la saturación para el flujo vehicular en esta fase.

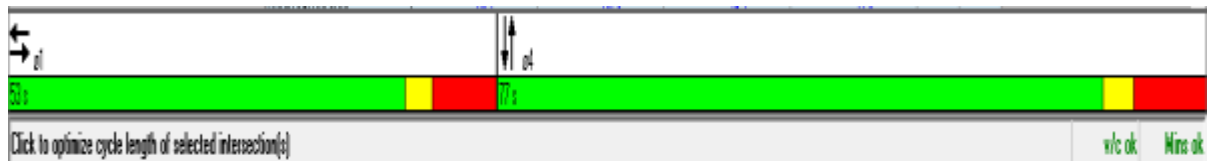
7.2. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

7.2.2. Graficas de las alternativas de solución

7.2.2.1. Semaforización

Para esta alternativa la gráfica se puede observar en la modelación, hay que tener en cuenta que los tiempos son relativos a la composición de los GC.

Figura 23. Ciclo optimo posible para la intersección



Fuente: Synchro 8.

Donde el tiempo efectivo para los movimientos 1 y 2 o GC 1 y 2 sería de 53 segundos, y para los movimientos 3 y 4 o GC 3 y 4 el tiempo efectivo será de 77 segundos con un total de 130 segundos alterando el ciclo semafórico de 120 segundos a 130.

7.2.2.2. Deprimido

Figura 24. Deprimido exclusivo para carril de Transmilenio



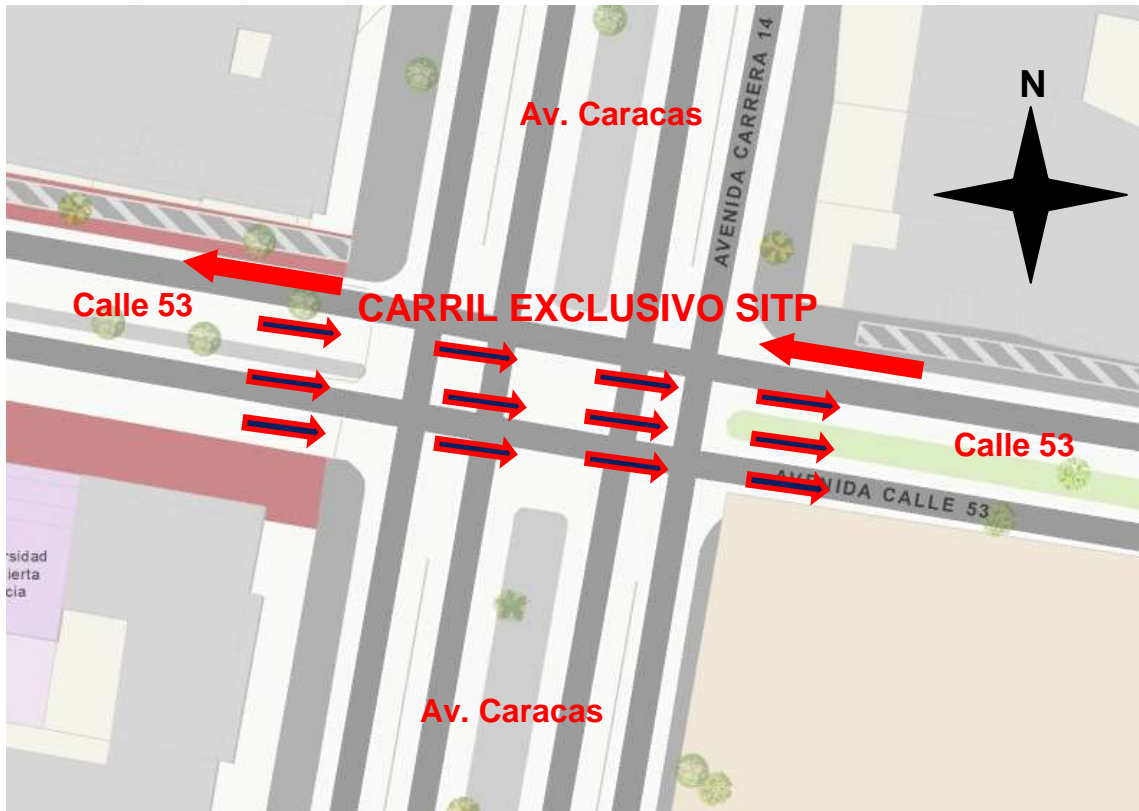
Fuente: Movilidad mapas, Bogotá. Elaboración propia

7.2.2.2. Puente exclusivo Transmilenio



Fuente: Movilidad Mapas, Bogotá. Elaboración propia

7.2.2.3. Contra flujo vehicular



Fuente: Movilidad mapas, Bogotá. Elaboración: Propia

7.2.1. Ventajas y desventajas de cada una de las soluciones

7.2.1.1. Ciclo semafórico

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Nivel de servicio del grupo de carril	D	D	C	B
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.71			
Demora total (d) (seg)	36.5			
Nivel de servicio de intersección (NS)	D			

Fuente: Elaboración propia

VENTAJAS

- La ejecución de esta solución no requiere una intervención en la infraestructura de la intersección, lo que genera un costo menor.
- Se plantea un ciclo semafórico óptimo aproximado de 130 s, conservando las 2 fases.
- Reducción de las demoras en toda intersección con la situación actual.
- Reducción de las demoras en el movimiento 3, puesto que los ciclos semafóricos de la carrera 13 y la avenida Caracas del movimiento 3 inician al mismo tiempo. Se plantea una demora aproximadamente de 8 s en el movimiento 3 de la avenida Caracas, iniciando después que la carrera 13, y así generar una disminución en los puntos de conflicto.
- El nivel de servicio en comparación a la actual mejora de E a D con una demora de 36.5 segundos.

DESVENTAJAS

- El nivel de servicio de la intersección varía muy poco además de esto no es conveniente ni competitivo para la intersección.
- Los movimientos 1, 2 1B, y 2B la fase no mantiene la prioridad con respecto al tiempo efectivo en verde lo que genera una disminución en el nivel de servicio para estos grupos carriles.
- Se analiza que el ciclo semafórico actual de la intersección con respecto a esta alternativa de solución, son iguales, es decir que este ciclo está en su límite de funcionamiento, por lo cual el volumen vehicular es lento e insuficiente. Además se demuestra que la capacidad de la intersección con esta alternativa está saturada el 15% de más actualmente.

7.2.1.2. Deprimido

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Nivel de servicio del grupo de carril	B	C	D	C
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.69			
Demora total (d) (seg)	23.8			
Nivel de servicio de intersección (NS)	C			

Fuente: Elaboración propia

VENTAJAS

- El nivel de servicio de la intersección se aumenta C con una demora 23.8 s y la proporción del volumen y capacidad es de 0,69.
- El ciclo semafórico óptimo para la intersección se estableció de 120 segundos, donde se permite un mayor verde para las fases los cuales serán de 58 segundos para los GC 1 Y 2 y de 50 para los GCs 3 y 4.
- El movimiento 1B y 2B tienen un flujo directo sin semaforización donde no tiene cruces con la intersección.
- Se genera reducción de las demoras en toda la intersección con la situación actual.
- Protección de los peatones en el cruce en la intersección.
- Se aumenta las velocidades de operación.

DESVENTAJAS

- Se mantiene los mismo pasos peatonales los cuales son largos y demorados debido a que son accionados.
- Con esta alternativa se requiere la intervención en la infraestructura de la intersección, ya que se construirá un deprimido para el movimiento 1B Y 2B, carril exclusivo Transmilenio.
- Los costos de ejecución de esta alternativa son mayores.

7.2.1.2. Puente exclusivo Transmilenio

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Nivel de servicio del grupo de carril	B	C	D	C
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.69			
Demora total (d) (seg)	23.8			
Nivel de servicio de intersección (NS)	C			

Fuente: Elaboración propia

VENTAJAS

- El nivel de servicio de la intersección se aumenta C con una demora 23.8 s y la proporción del volumen y capacidad es de 0,69.
- El ciclo semafórico óptimo para la intersección se estableció de 120 segundos, donde se permite un mayor verde para las fases los cuales serán de 58 segundos para los GC 1 Y 2 y de 50 para los GCs 3 y 4.
- El movimiento 1B y 2B tienen un flujo directo sin semaforización donde no tiene cruces con la intersección.

- Se genera reducción de las demoras en toda la intersección con la situación actual.
- Protección de los peatones en el cruce en la intersección.
- Se aumenta las velocidades de operación.

DESVENTAJAS

- Se mantiene los mismo pasos peatonales los cuales son largos y demorados debido a que son accionados.
- Con esta alternativa se requiere la intervención en la infraestructura de la intersección, ya que se construirá un puente vehicular para el movimiento 1B Y 2B, carril exclusivo Transmilenio.

7.2.1.3. Movimiento 3 en dirección Occidente-Oriente

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Nivel de servicio del grupo de carril	B	C	C	C
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.55			
Demora total (d) (seg)	22.7			
Nivel de servicio de intersección (NS)	C			

Fuente: Elaboración propia

VENTAJAS

- El nivel de servicio de la intersección aumenta de E a C, con una demora total de 22.7 segundos y con una proporción de flujo de velocidad de 0.42.

- El movimiento 3 contaría con 3 carriles generando menores demoras para la intersección.
- El movimiento 4 quedaría como carril exclusivo para buses y no se vería afectado su nivel de servicio.
- El ciclo semafórico no se vería afectado.
- El costo de ejecución sería menos respecto a las alternativas anteriores.

DESVENTAJA

- Habría una mediana intervención en la infraestructura de la intersección.
- El flujo vehicular particular tendría que tomar como alternativa para dirigirse hacia el occidente, la calle 57 debido a que solo se habilitara el carril de la 53 oriente-occidente para el uso de SITP.
- Mayor complejidad para los peatones en el momento de cruzar las calzadas de la 53.

7.2.3. ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION

En la intersección de estudio se presentan condiciones críticas, establecidas en el documento, las cuales se presentan por puntos de conflictos entre los diferentes movimientos, mayormente se presentan en los movimientos 3 y 2, ya que se requiere reutilizar los espacios que se tienen en la intersección, los cuales son regulados con los ciclos semafóricos dando un aumento a los tiempos efectivos en el que se pueda obtener un mejor tránsito de vehicular, solucionando así estos puntos críticos, la capacidad y nivel de servicio de la intersección, mejorando los parámetros de calidad en una intersección como lo son rapidez, confort y seguridad para los usuarios.

7.2.3.1. Mejor alternativa

A partir del análisis realizado en el capítulo anterior, los niveles de servicios y las demoras de tiempo actual, se seleccionó la mejor alternativa definida como son:

Contraflujo en sentido occidente-oriente

La escogencia de la mejor alternativa de solución para la intersección, se basa en factores técnicos, económicos (costos) y tiempos de ejecución parra este caso sería dejar un solo carril en el movimiento 4 con exclusivo flujo vehicular para tipo bus.

7.3. MODELACION A PARTIR DE LA MEJOR ALTERNATIVA

7.3.1. MODELACION

La modelación se realizó en el software Synchro 8, a continuación se muestra la modelación de la intersección con su nivel de servicio actual, así esta modelación tiene como fin verificar los datos obtenidos por los cálculos anteriormente mencionados.

7.3.2. MODELACIÓN DE ESTADO ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN

Figura 25. Volúmenes vehiculares en hora pico situación actual



Fuente: Synchro 8, Elaboración: Propia

Según los volúmenes obtenidos para cada movimiento, se introdujeron estos volúmenes a cada uno, en la figura se observa los debidos volúmenes.

Figura 26. Nivel de servicio en la intersección actualmente



Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

La anterior imagen, demuestra que el nivel de servicio para los movimientos 4 y 3 son de F, se debe tener en cuenta que los valores de algunos datos Synchro los toma por defecto como iguales tanto para un sentido como para el otro, es decir Norte-Sur o en viceversa, Este-oeste o en viceversa, caso como los tiempos donde no se podían alterar tiempos de cada semáforo.

El nivel de servicio para cada movimiento no se pierde del margen de nivel de servicio calculado anteriormente, se puede ver en el anexo 2. Nivel y Capacidad de la intersección actualmente. Los valores para los grupos carriles están entre F y C, el valor para el grupo carril 3 es F, lo esperado según los cálculos.

Figura 27. Tiempos semafóricos en la intersección actualmente.



Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

El tiempo esta promediado para cada uno de los GC, donde los GC 1 Y 2 tienen un promedio de verde de 59 segundos y los GC 3 y 4 tienen un promedio de 41,5 segundos, hay que tener en cuenta que estas fases no son afectadas por giros a la derecha, pues los giros a la derecha cumplen con el mismo tiempo de fase que los movimientos directos.

Figura 28. Modelación de la intersección actual con volúmenes



Fuente: Synchro 8. Elaboración propia.

Figura 29. Modelación de la intersección con cola para el GC 3 (mov 3)

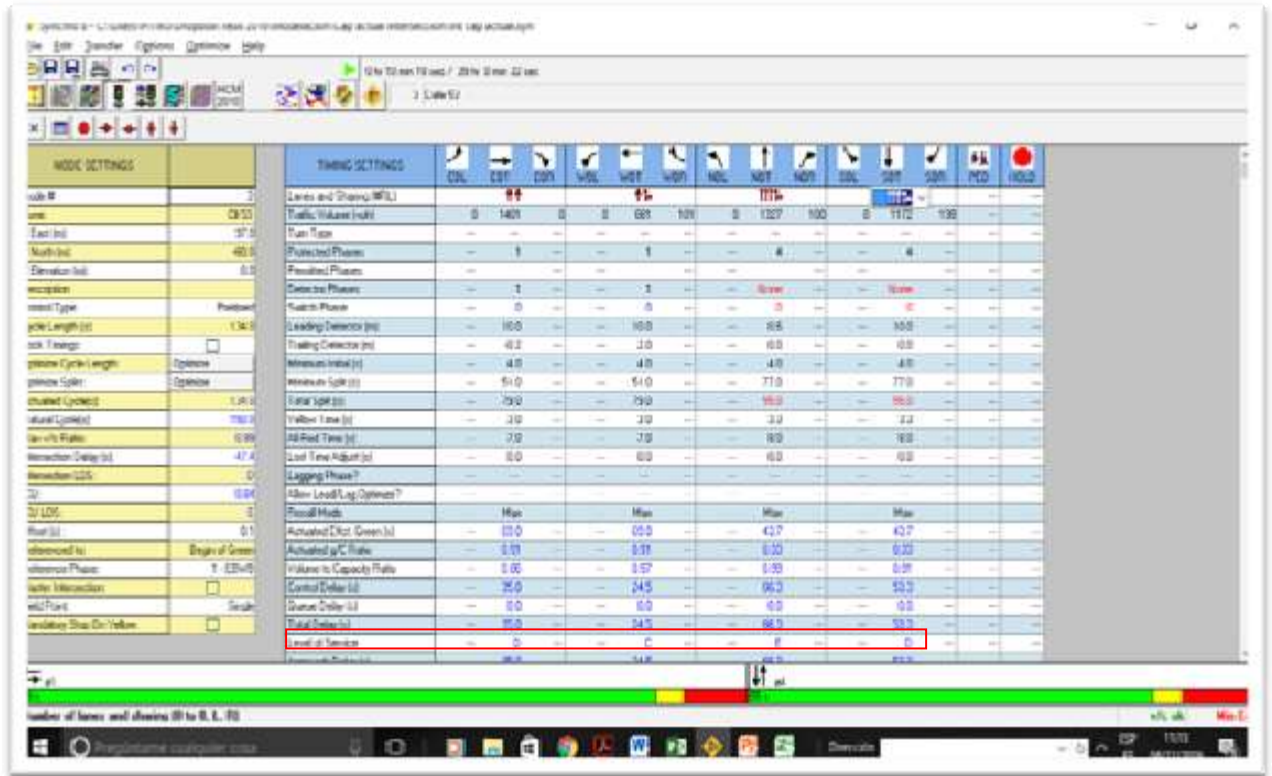


Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

En la anterior figura, se observa como para el GC 3, la saturación es inmediata a diferencia del GC 4, llegando a las esperas de mayor tiempo y generando congestión en la intersección.

7.3.3. Modelación de puente Transmilenio situación actual

Figura 30. Modelación puente Transmilenio



Fuente: Synchro 8. Elaboración: propia

Se observa que el nivel de servicio para el carril 3 mejoro de nivel F a nivel D, con un tiempo en verde efectivo de 51 segundos, este tiempo se dio debido a que se le dejo de dar prioridad a Transmilenio y se pudo optimizar el tiempo de la intersección, además para esta modelación ya no se tuvieron en cuenta los volúmenes de los movimientos 1B Y 2B.

A continuación se puede observar el posible comportamiento de los volúmenes en la intersección mediante el cambio ya establecido anteriormente.

Figura 31. Modelación de paso a nivel en la intersección



Fuente: Synchro 8. Elaboración propia

Se puede observar que para el GC 3 señalado con un cuadro, la congestión disminuyó aumentando el flujo de saturación, esto a su vez también disminuyó el nivel de servicio para los grupos de carriles 1 y 2. A continuación el nivel de servicio de la intersección en general. En el interfaz del programa no da opción alguna de poder realizar un puente, se realizaron cambios en la configuración vehicular y en los movimientos de la intersección.

Figura 32. Nivel de servicio de la intersección alternativa paso a nivel



Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

El nivel de servicio actualmente para la intersección por medio de la alternativa de paso a nivel es de C

7.3.4. Evaluación de la capacidad y nivel de servicio

La intersección cuenta actualmente con un nivel de servicio E, dada por los puntos de conflicto generadas por la congestión en especial sobre el GC 3, esto abarco a toda la composición vehicular dada en la hora pico la cual es de 6:45 a 7:45 am, el volumen para cada grupo carril se proyectó a 20 años para poder realizar la estimación correcta sobre el nivel de servicio a dicho tiempo, se tomó una tasa de crecimiento del 5.33% esto según los cálculos por crecimiento poblacional y crecimiento vehicular por año, a continuación se presentan las proyecciones de cada GC.

Tabla 27. Proyección de volúmenes para los grupos de carriles

AÑO	GRUPO CARRIL			
	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
2016	1666	1646	1401	782
2017	1755	1734	1476	824
2018	1848	1826	1554	868
2019	1947	1923	1637	914
2020	2051	2026	1724	963
2021	2160	2134	1816	1014
2022	2275	2248	1913	1068
2023	2396	2368	2015	1125
2024	2524	2494	2123	1185
2025	2659	2627	2236	1248
2026	2800	2767	2355	1314
2027	2949	2914	2480	1384
2028	3107	3069	2613	1458
2029	3272	3233	2752	1536
2030	3447	3405	2898	1618
2031	3630	3587	3053	1704
2032	3824	3778	3216	1795
2033	4028	3979	3387	1891
2034	4242	4191	3568	1991
2035	4469	4415	3758	2097
2036	4707	4650	3958	2209

Fuente: Elaboración propia

7.3.4. Comparación con respecto a la capacidad y nivel de servicio a 20 años

7.3.4.1. Situación de la intersección a 20 años sin alternativa

Se modificaron los volúmenes por los ya anteriormente mencionados en la tabla 26.

Tabla 28. Situación de la intersección en 20 años sin aplicar alternativa

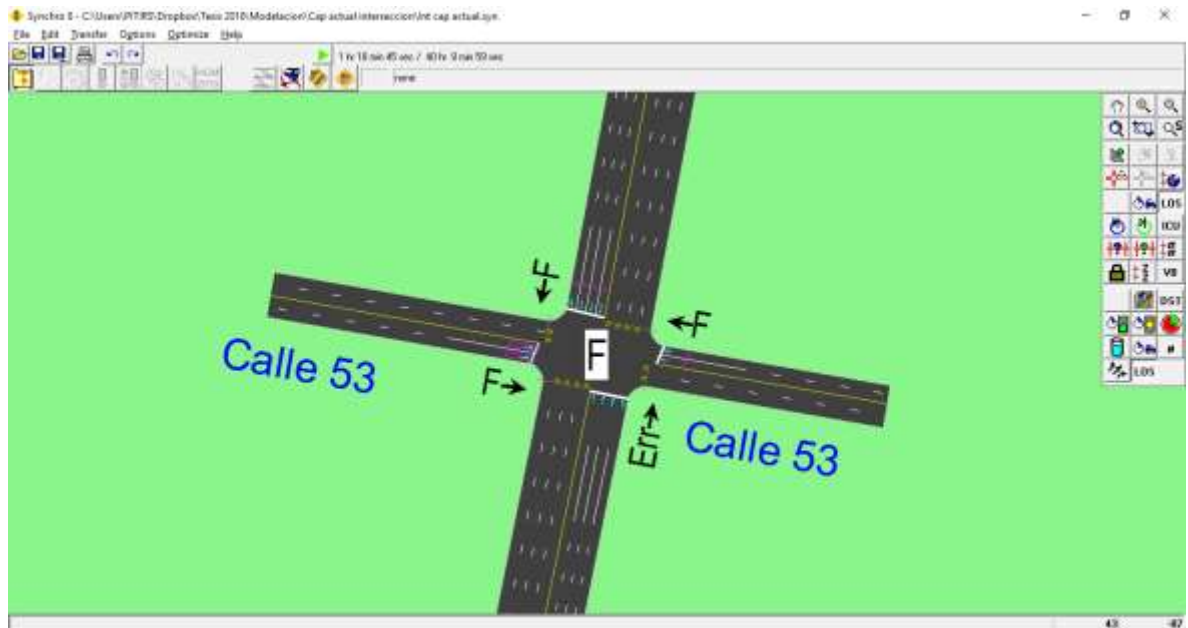
Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Veh/Hora (6:45-7:45) volumen de diseño	4707	4650	3958	2209
Capacidad (c)	3482	3553	1595	1341
Condición (C > VHD)	ATASCO	ATASCO	ATASCO	ATASCO
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	1.35	1.31	2.48	1.65
Proporción de verde efectivo (g/C)	0.66	0.66	0.50	0.50
Demora uniforme (d1) (seg)	21	21	30	30
Factor de progresión (PF)	0.4	0.4	0.7	0.7
Demora incremental (d2) (seg)	190.2	92.9	800.3	350.0
Demora total por GC (d) (seg)	198	100	820	370
Nivel de servicio del grupo de carril	F	F	F	F
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	1.70			
Demora total (d) (seg)	372			
Nivel de servicio de intersección	F			

Fuente: Elaboración propia

La situación proyectada a 20 años para la intersección, se ve que es crítica, esto debido al crecimiento automotor y la tasa de crecimiento de la misma, el nivel de servicio será de F tanto para cada grupo de carril como para la intersección en general.

La alternativa seleccionada proyectada a 20 años, a continuación se observa con detalle con respecto al nivel de servicio.

Figura 33. Alternativa puente proyectada a 20 años



Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

Se observa que el nivel de servicio a futuro planteando la solución será F, Esto significa que la alternativa no ayudara en mucho a la intersección pues los volúmenes vehiculares incrementaran de una manera alarmante, el software arrojó un error debido a los volúmenes alarmantes los cuales no logra adaptar ni codificar para poder mostrar el nivel de servicio para el GC 2.

7.3.4. Modelación de carril exclusivo para SITP

En la siguiente tabla, se encuentra el volumen vehicular en hora pico del movimiento 4.

Tabla 29. Volúmenes vehiculares para el movimiento 4

Conteo	Livianos	Buses	Camiones
6:45 - 7:00	132	11	4
7:00 - 7:15	140	9	4
7:15 - 7:30	166	9	8
7:30 - 7:45	181	11	6
TOTAL	619	40	22

Fuente: Propia

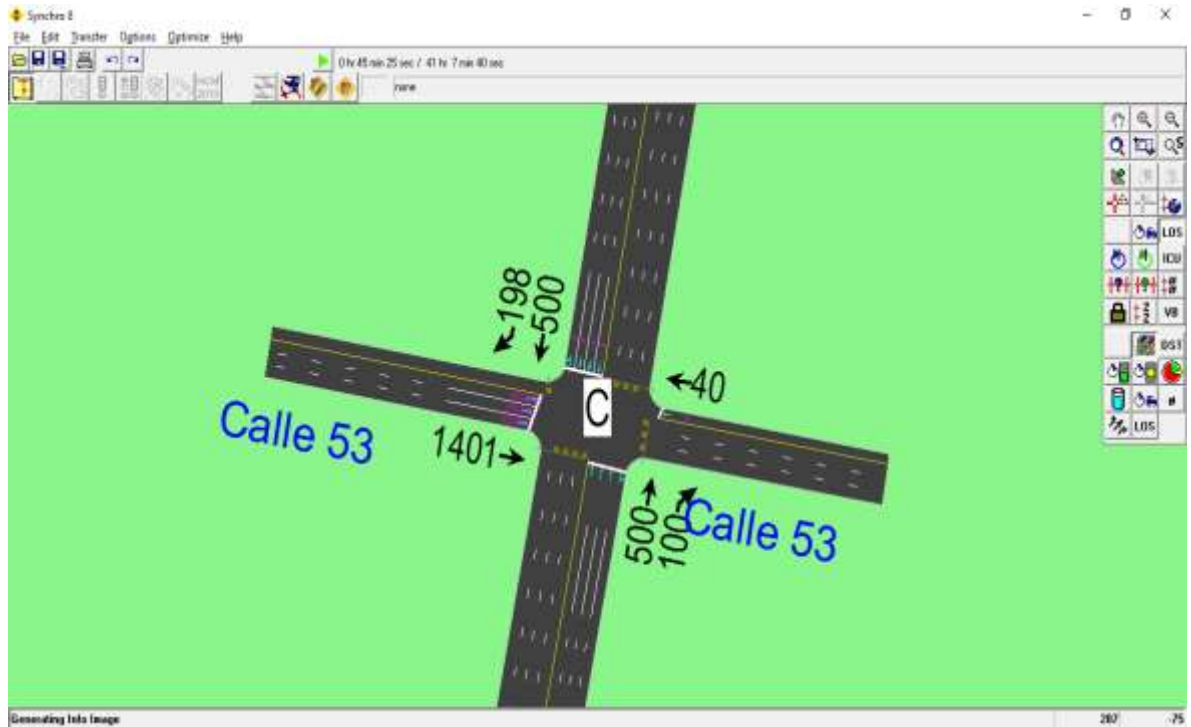
Figura 34. Modelación del carril exclusivo del SITP en el movimiento 4 con sus volúmenes



Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

La figura muestra los volúmenes para cada uno de los movimientos, donde el movimiento 4 tiene un volumen total de 40 vehículos y un solo carril, siendo este exclusivo del SITP.

Figura 35. Nivel de servicio de la intersección



Fuente: Synchro 8. Elaboración Propia

El nivel de servicio para la intersección según la modelación es C, esto se debe a que el programa no codifica el ciclo semafórico para esperas de tiempo en rojo, es decir, mientras los movimientos 1 y 2 están en verde, al cambiar a ámbar y luego a rojo, los movimientos 3 y 4 cambian a verde aproximadamente 15 segundos después de que los otros dos movimientos hayan cambiado a rojo, igualmente muestra un nivel deservicio muy bueno a diferencia del nivel de servicio sin alteración en la modelación.

Figura 36. Modelación vehicular con el carril exclusivo para SITP



Fuente: Synchro 8. Elaboración: Propia

Figura 37. Modelación en 3D para carril exclusivo de Transmilenio (situación actual)

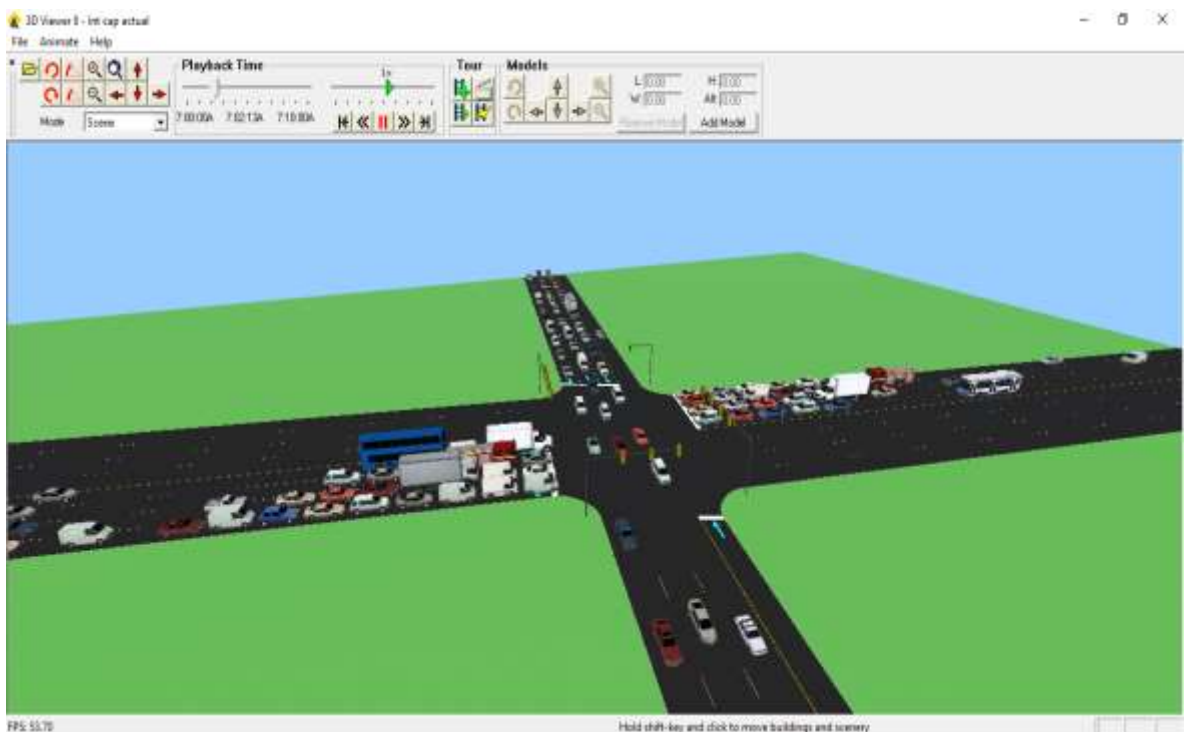


Tabla 30. Situación de la intersección actual con carril exclusivo de SITP en sentido Oriente-occidente.

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Veh/Hora (6:45-7:45) volumen de diseño	1666	1696	1401	40
Capacidad (c)	2654	2609	1124	998
Condición (C > VHD)	OK	OK	OK	OK
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.63	0.65	0.83	0.08
Proporción de verde efectivo (g/C)	0.49	0.48	0.34	0.35
Demora uniforme (d1) (seg)	22	23	36.3	26.1
Factor de progresión (PF)	0.7	0.7	0.83	0.82
Demora incremental (d2) (seg)	0.1	7.2	0.5	0
Demora total por GC (d) (seg)	15	23	30.6	21.5
Nivel de servicio del grupo de carril	B	C	C	C
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	0.55			
Demora total (d) (seg)	22.7			
Nivel de servicio de intersección (NS)	C			

En base a los cálculos anteriores se registra la situación a 20 años en comparación con la actual para esta alternativa.

Tabla 31. Situación de la intersección en 20 años sin aplicar alternativa

Numero de Grupo de Carril	<u>GC1</u>	<u>GC2</u>	<u>GC3</u>	<u>GC4</u>
Movimiento	Directo - Giro Derecha	Directo - Giro Derecha	Directo	Directo - Giro Derecha
Veh/Hora (6:45-7:45) volumen de diseño	<u>4707</u>	<u>4650</u>	<u>3958</u>	<u>113</u>
Capacidad (c)	3482	3553	2683	752
Condición (C > VHD)	ATASCO	ATASCO	ATASCO	OK
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	1.35	1.31	1.48	0.15
Proporción de verde efectivo	0.66	0.66	0.50	0.50

(g/C)				
Demora uniforme (d1) (seg)	21	21	24	11
Factor de progresión (PF)	0.4	0.4	0.6	0.6
Demora incremental (d2) (seg)	190.2	165.5	256.8	0.0
Demora total por GC (d) (seg)	198	173	270	7
Nivel de servicio del grupo de carril	F	F	F	A
INTERSECCION				
Proporción de flujo de capacidad (v/c)	1.07			
Demora total (d) (seg)	162			
Nivel de servicio de intersección	F			

Fuente: Propia

Figura 38. Alternativa carril exclusivo para buses del SITP proyectada a 20 años



Fuente: Synchro 8. Elaboración: propia

8. CONCLUSIONES

A partir de la solución seleccionada el cual fue la adecuación de un carril en sentido oriente-occidente a occidente-oriente, con el fin de adicionar un carril al movimiento 3, y además de ello que un único carril en el movimiento 4, exclusivo para el SITP, se obtuvo un nivel de servicio de mejor clasificación para la intersección.

Para esta solución no fue necesario la intervención en los tiempos semafóricos y tampoco una intervención en la infraestructura de la intersección.

A corto plazo el puente vehicular, generara un cambio favorable en la intersección para los usuarios, donde el nivel de servicio actualmente se encuentra en E y con el puente cambiario a C a corto plazo, y las velocidades de recorrido sobre la intersección de la calle 53 con avenida caracas, mejora ya que el flujo vehicular del acceso norte y sur de los carriles de Transmilenio está libre de regulación semaforizadas.

De igual forma no es necesario la intervención de predios en los aledaños a la intersección porque se reorganizaron y se reacomodaron los carriles que delimitan la intersección.

De otra parte los puntos de conflicto se reducen de 17 a 8, y en consecuencia reducción de la probabilidad de accidentalidad por reducción eventos posibles, la solución sin embargo, desmejora el valor escénico del entorno, por ejemplo, debido a la altura del puente, el rango visual.

No se logro realizar un estudio completo en cuanto a los peatones, los cuales se verán afectados por la solución seleccionada.

9. RECOMENDACIÓN

- La malla vial de Bogotá, muestra principalmente sobre las intersecciones semaforizadas, complicaciones de flujo de saturación lo que se recomienda generar un estudio óptimo sobre cada una de las intersecciones posiblemente utilizando este documento como base a los problemas según tenga la intersección, sea por ciclos semafóricos, nivel de servicio o capacidad.
- En caso de falta de información otorgada por el IDU sea por motivos de disponibilidad para los estudiantes o investigadores, se recomienda realizar un trabajo de campo propio para la toma de esta información, por ejemplo, aforos, pasos peatonales, tiempos de semáforos, anchos de carriles.
- Para diseño y optimización de una intersección es recomendable utilizar en su mayor parte el manual de la HMC (Highway Capacity Manual) preferiblemente del 2010.
- En cuanto al estudio de peatones, es recomendable realizar aforos peatonales y obtener el área para poder diagnosticar mejor la intersección a estudiar en futuros estudios.

10. BIBLIOGRAFIA

BAÑON BLASQUEZ, Luis. 1999. *MANUAL DE CARRETERAS*, Trabajo fin de carrera, Universidad de Alicante, *Escuela Politécnica Superior.*, Capítulos 7, 8 y 14. 1999.

D. Rodriguez, «Revisión del HCM 2010 y 2000 intersecciones semaforizadas s», ART. Ingenium, vol. 16, n.º 32, pp. 19-31, mayo, 2015.

HIGHWAY CAPACITY MANUAL, edición N° 4, 2008 Cap. 8, 15 y 16.

INVIAS 2008, Manual de diseño Geométrico de Carreteras. Cap, p. 27

HUMBERTO SANCHEZ, *estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento*, Universidad nacional de Colombia, Fac. Ing. Civil, Tesis 2015.

PEÑA LINDARTE, Jose. *Análisis de los factores de ajuste por utilización de carril en intersecciones semaforizadas de Bogotá D. C.*, Art. Ing. e investigación vol 30. 1 abril de 2010, Bogotá.

RIVERA, J.J. Julian y otros (2008). *Análisis por microsimulación de las minirotondas urbanas. Art. Ingeniería* 12-3 (2008) Pag 33-44. Bogota, 2008.

SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD, *Movilidad en cifras 2014*, Bogota 2014.

ORTEGON CACERES, Yinet, 2014. *ESTUDIO GEOMÉTRICO A DESNIVEL PARA POSIBLES INTERSECCIONES VEHICULARES EN LA CARACAS TRAMO CALLE 76 - CALLE 28*, Proyecto de grado, Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Fac. Ing Civil. Bogota, 2014.

URAZAN BONELLS, Felipe y otros (2013). *Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda*. Estudio de caso, *Bogotá D.C, Epsilon*(20), 173-190.