

PLANTEAMIENTO DE SOLUCION A LA CONGESTION VEHICULAR
PRESENTADA EN EL RETORNO DE LA AVENIDA CALLE 80 ENTRE
CARRERAS 119 Y 121 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C

OSCAR MAURICIO CORCHUELO CANIZALES
JORGE ANDRÉS PIZA BECERRA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2015

PLANTEAMIENTO DE SOLUCION A LA CONGESTION VEHICULAR
PRESENTADA EN EL RETORNO DE LA AVENIDA CALLE 80 ENTRE
CARRERAS 119 Y 121 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C

OSCAR MAURICIO CORCHUELO CANIZALES
JORGE ANDRÉS PIZA BECERRA

Trabajo de grado
Modalidad trabajo final para optar por el título de:
Ingeniero Civil

Asesor Disciplinar
Ing. FABIAN GONZALEZ HERNANDEZ
Mgs. Tránsito y Transporte

Asesor Metodológico
Dra. JEANNETTE MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, junio de 2015

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, a nuestros padres, hermanos y familia, quienes nos apoyaron en el transcurso de nuestra carrera y son partícipes de este logro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimientos a

Ingeniero Fabián González Hernández, asesor disciplinar de tesis, quien con su colaboración, sabiduría y orientación logramos culminar los objetivos de este trabajo.

Doctora Jeannette Martínez, asesora metodológica, por su paciencia, exigencia y orientación para poder finalizar este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCION	15
2. GENERALIDADES.....	16
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	19
2.3. OBJETIVOS.....	20
2.3.1. General	20
2.3.2. Específicos.....	20
3. MARCOS DE REFERENCIA.....	21
3.1. ANTECEDENTES.....	21
3.2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO	21
3.2.1. Intersecciones viales	21
3.2.2. Intersecciones a nivel.....	22
3.2.3. Intersecciones a desnivel	30
3.2.4. Planeación del transporte.....	35
3.2.5. Factores considerados en el diseño.....	36
3.2.6. Movimientos en una intersección	37
3.2.7. Capacidad vial.....	38
3.2.7.1. Nivel de servicio A:	38
3.2.7.2. Nivel de servicio B:	38
3.2.7.3. Nivel de servicio C	39
3.2.7.4. Nivel de servicio D	39
3.2.7.5. Nivel de servicio E.	40
3.2.7.6. Nivel de servicio F.....	41
3.2.7.7. Capacidad de la vía	41
3.3. MARCO GEOGRÁFICO	42

3.4.	MARCO LEGAL.....	43
4.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	44
4.1.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	44
4.2.	SUBLÍNEA.....	44
4.3.	TÍTULO.....	44
4.4.	ENFOQUE.....	44
4.5.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	44
4.6.	TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
4.7.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
4.7.1.	Identificación y caracterización del problema.....	45
4.7.2.	Volúmenes vehiculares y cálculo de información.....	46
4.7.3.	Capacidades y niveles de servicio.....	46
4.7.4.	Alternativas de solución mediante modelación.....	46
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
5.1.	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	47
5.1.1.	Caracterización de las vías.....	47
5.1.2.	Configuración de movimientos.....	49
5.2.	VOLÚMENES VEHICULARES Y CÁLCULO DE INFORMACIÓN.....	53
5.2.1.	Hora de máxima demanda.....	60
5.2.2.	Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda.....	60
5.2.3.	Factor de la hora de máxima demanda.....	63
5.3.	CAPACIDADES Y NIVELES DE SERVICIO.....	63
5.3.1.	Determinación del nivel de servicio.....	65
5.4.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN MEDIANTE MODELACIÓN.....	72
5.4.1.	Simulación de la condición actual.....	72
5.4.2.	Alternativa 1. Intersección semaforizada.....	75
5.4.3.	Alternativa 2. Diseño de glorieta.....	78
5.4.4.	Alternativa 3. Conexión elevada o deprimida de la TV 121 a la AC 80 80	
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82

7. CONCLUSIONES.....	84
8. BIBLIOGRAFÍA	85

LISTA DE ILUSTRACIONES

pág.

Ilustración 1 - Intersección CL 80 por TV 121. Fuente propia	17
Ilustración 2 - Intersección CL 80 por TV 121, fuente propia	18
Ilustración 3 - Esquema básico de una intersección tipo Glorieta. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 208.	23
Ilustración 4 - Intersección en “T” o “Y”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 196.....	25
Ilustración 5 - Intersección en Cruz “+” o Equis “x”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 196.....	26
Ilustración 6 - Intersección en “T” o “Y”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 197.....	27
Ilustración 7 - Intersección a nivel en “T” o “Y”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 198.....	27
Ilustración 8 – Esquema básico intersección en Cruz “+” o Equis “x”. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 198.	28
Ilustración 9 - Intersección en Cruz “+” o Equis “x” con separador. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 199.....	28
Ilustración 10 - Intersección a desnivel tipo “Trompeta”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 210.....	31
Ilustración 11 - Intersección a desnivel tipo “Trompeta” en carreteras divididas. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 211.	32
Ilustración 12 - Intersección a desnivel tipo “Trébol”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 212.....	33
Ilustración 13 - Intersección a desnivel tipo “Trébol” en carreteras divididas. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 213.....	34
Ilustración 14 - Representación movimientos en una intersección. Manual STT - 1998.....	37
Ilustración 15 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.....	38
Ilustración 16 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.....	39

Ilustración 17 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.....	39
Ilustración 18 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.....	40
Ilustración 19 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.....	40
Ilustración 20 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.....	41
Ilustración 21 - Localización geográfica de la intersección. Fuente propia	42
Ilustración 22 - Caracterización de carriles en el lugar de estudio. Fuente propia	47
Ilustración 23. Cambio de configuración de carriles AC 80 por TV 121. Fuente propia	48
Ilustración 24. TV 121 Acceso a Suba por AC 80. Fuente propia	48
Ilustración 25. Cruce peatonal Semafórico KR 119. Fuente propia	49
Ilustración 26 - Esquema de movimientos de la intersección en estudio. Fuente propia.....	51
Ilustración 27. Puntos de conflicto. Fuente propia	53
Ilustración 28 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio en segmentos básicos de autopistas.....	65
Ilustración 29 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio TRAMO AC 80 SENTIDO ORIENTE - OCCIDENTE.....	67
Ilustración 30 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio AC 80 SENTIDO OCCIDENTE – ORIENTE	69
Ilustración 31 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio TV 121 acceso a AC 80	71
Ilustración 32 –Condición actual de la vía, Fuente propia.....	72
Ilustración 33 - Simulación condición actual en Synchro. Fuente propial	73
Ilustración 34 – Modelación 3D de la condición actual. Fuente propia	73
Ilustración 35, identificación de los puntos conflicto mediante Synchro, fuente propia	74
Ilustración 36 – Control por entidades de transito. Fuente propia.....	75
Ilustración 37 – Modelación de la semaforización vista en planta, fuente propia... ..	76
Ilustración 38 – Modelación de la semaforización en perspectiva. Fuente propia ..	76
Ilustración 39- identificación de los puntos conflicto con semáforo mediante Synchro, fuente propia.....	77

Ilustración 40 - Modelación de glorieta aérea. Fuente propia	78
Ilustración 41. Identificación de los puntos conflicto con la glorieta mediante Synchro, fuente propia.....	79
Ilustración 42 – Simulación alternativa 3. Fuente propia.....	80
Ilustración 43 - Identificación de los puntos conflicto con puente TV 121 mediante Synchro, fuente propia.....	81

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 - Criterios de diseño de glorietas. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 209.....	25
Tabla 2. Volúmenes vehiculares día típico	55
Tabla 3. Volúmenes vehiculares día atípico	56
Tabla 4. Tabla equivalencia en vehículos livianos	57
Tabla 5. Vehículos livianos equivalentes día Típico.....	57
Tabla 6. Vehículos livianos equivalentes día atípico.....	58
Tabla 7. Volumen Horario	60
Tabla 8. Volúmenes mixtos en la HMD	61
Tabla 9. Total de vehículos por tipo en la HMD	61
Tabla 10. Vehículos equivalentes en el día típico	62
Tabla 11. Velocidades espaciales obtenidas AC 80 sentido oriente-occidente	66
Tabla 12. Velocidades espaciales obtenidas AC 80 sentido occidente-oriente	68
Tabla 13. Velocidades espaciales obtenidas TV 121 a AC 80.....	70
Tabla 14. Capacidades en puntos de conflicto condición actual.....	74
Tabla 15. Capacidades en puntos de conflicto alternativa semaforización	77
Tabla 16. Capacidades en puntos de conflicto alternativa con glorieta	79
Tabla 17. Capacidades en puntos de conflicto alternativa puente TV 121	81

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1 – Variación del volumen de transito día típico	59
Gráfica 2 – Variación del volumen de transito día atípico	59
Gráfica 3 - Porcentaje de vehículos en la HMD	62

GLOSARIO

Dentro del contexto de nuestra investigación existen términos que son importantes mencionar, los cuales relacionamos a continuación:

CAPACIDAD: teóricamente es (q_m), y se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. La capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que razonablemente pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.¹

DEMANDA: corresponden a los flujos en el sistema a diferentes situaciones (variable). Refleja el deseo de viaje y se requiere el conocimiento del comportamiento humano para establecer los deseos de viaje.

DENSIDAD: es el número, **N**, de vehículos que ocupan una longitud específica, **d**, de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada.²

FLUJO O TASA DE FLUJO: es denominada con la letra, **q**, es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. En conclusión la tasa de flujo es pues, el número de vehículos, **N**, que pasan durante un intervalo de tiempo específico, **T**, inferior a una hora, expresada en vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s).³

FLUJO VEHICULAR: es un conjunto de conceptos que sirven para poder entender las características y comportamientos del tránsito, planeamiento y operación de carreteras, calles y obras complementarias dentro de un sistema de transporte. Las tres variables principales son el flujo, la velocidad y la densidad.⁴

¹ REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 355.

² Ibid. p. 283.

³ Ibid. p. 277.

⁴ Ibid. p. 276.

GLORIETA: es un tipo especial de intersección que se caracteriza por que los tramos que en ella confluyen, se comunican a través de un anillo central donde la circulación del flujo es rotatoria alrededor de una isleta central.

HORA PICO: es la denominación que se le da al periodo de tiempo, no necesariamente una hora, en el que constantemente se registran los mayores represamientos en determinados puntos.

INTERSECCIÓN: dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran ya sea en un mismo nivel o bien en distintos, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellos circulan.⁵

MALLA VIAL O SISTEMA VIAL: se entiende por malla vial o sistema vial, la red de vías de comunicación terrestre, construidas por el hombre, para facilitar la circulación de vehículos y personas. Está constituido por el conjunto de caminos, rutas, autopistas, calles y sus obras complementarias (puentes, alcantarillas, obras de señalización, de iluminación, etc.). Junto a la red ferroviaria, se nuclean las arterias vitales de un país. Es el símbolo que traduce el progreso de una nación, y de ella depende, en gran parte, el crecimiento socioeconómico. La comunicación es el elemento esencial para el desarrollo y la unión de los pueblos. Es a través del sistema vial de un país, junto a otros sistemas, que mejorarán sus condiciones sociales, económicas, culturales, turísticas e integrativas.

NIVEL DE SERVICIO: define cualitativamente la calidad percibida por el usuario sobre el funcionamiento del mismo. Se denomina como la relación entre la capacidad (oferta) y la demanda.

OFERTA: se refiere al servicio proporcionado para el desplazamiento rápido de las personas. Es considerado un servicio y no un bien, y debe ser consumido en el mismo momento y sitio en que es producido, de lo contrario se pierde su beneficio.

OPERACIÓN DEL TRANSPORTE: la operación de sistemas de transporte tradicionalmente ha sido definida como un menú de técnicas que controlan la cantidad de vehículos en las calles y la capacidad de la vía. Estas técnicas incluyen desde la sincronización de los semáforos, el manejo del tráfico, hasta el uso de sistemas inteligentes de transporte y técnicas para reducir la demanda de viajes motorizados.

⁵ INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 292.

PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE: la planeación se puede definir como la disciplina que permite anticipar situaciones futuras y plantear soluciones realizables y factibles. En teoría, busca por medio del análisis de la situación actual el obtener soluciones que logren un sistema de transporte que permita la movilidad y la accesibilidad de sus usuarios.

RETORNO: se refiere al punto donde el flujo cambia al sentido contrario del cual proviene inicialmente.

TIPOS DE VEHÍCULOS: hace referencia a vehículos livianos, pesados, de servicio público, de dos o más ejes y motocicletas.

TRÁFICO VEHICULAR: se refiere tanto urbana como interurbanamente, a la condición de un flujo vehicular que se ve saturado debido al exceso de demanda de las vías, produciendo incrementos en los tiempos de viaje y represamientos. Este fenómeno se produce comúnmente en las horas pico, y resultan frustrantes para los automovilistas, ya que resultan en pérdidas de tiempo y consumo excesivo de combustible.

TRAMO VIAL: longitud de trazado de una carretera a la cual se le asigna una determinada velocidad de diseño de acuerdo a su topografía.⁶

VELOCIDAD: se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (km/h).⁷

VOLUMEN DE TRANSITO: es el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto durante un tiempo específico.⁸

⁶ INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 294.

⁷ REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 235.

⁸ Ibid. p. 169.

1. INTRODUCCION

En sus inicios la ciudad de Bogotá no concibió la salida por la calle 80, conocida también como la autopista Medellín, esto dado que la población no era la actualmente registrada la cual ahora llega a superar los 8 millones de personas.

A medida que la ciudad fue posesionándose como capital del país, la necesidad de ampliar su conexión con el resto del territorio nacional hizo que esta vía se convirtiera en un paso exclusivo para quienes querían ingresar o salir por el noroccidente de la ciudad, todos estos cambios generaron incrementos desproporcionados en la población en este sector, algunos de los lugares que generaron creación de nueva infraestructura de vivienda fueron las zonas que actualmente se conocen como Ciudadela Colsubsidio creada en los años de 1980, junto a los barrios contiguos como Cortijo, Bolivia, El Dorado, Villas de Granada, Garcés Navas entre algunos otros.

Otros de los factores que generaron un crecimiento demográfico excesivo fue que la capital estaba en condición de ofrecer oportunidades a quienes ya no las encontraban en sus ciudades natales y también por la violencia constante del país que desde hace mucho tiempo ocasiona migraciones, lo anterior solo refleja que no ha existido un control en la población y no se han controlado estos factores, por tal motivo el transporte se ha venido volviendo caótico, dado que las vías estaban diseñadas para movilizar mucho menos flujo de personas del que actualmente existe.

Con la implementación del sistema Transmilenio por la calle 80 en el 2001 se realizaron cambios en la configuración de la vía, dando origen a carriles exclusivos para los buses de este sistema, esto generó que se redujeran el número de carriles para el tránsito particular y que el transporte público e intermunicipal se reorganizara. Por las obras de Transmilenio en la salida de la ciudad llegando al conocido puente de Guadua, se construyó un retorno con carriles preferenciales para buses alimentadores y siendo este retorno el lugar que coincide con las salidas de parque automotor de las ciudadelas y del sector de Suba Lisboa, así como de quienes ingresan a la ciudad, constantemente se genera un cuello de botella y en general una desorganización en los flujos vehiculares.

Por lo anterior se quieren proponer alternativas de solución que proporcionen un cambio significativo y eficiente a futuro que satisfaga a todos los usuarios del sector o a quienes lo usan.

2. GENERALIDADES

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo económico que ha sufrido la ciudad en las últimas décadas y la concentración de viajes hacia zona industrial de la sabana de Bogotá, ha incrementado el tránsito de vehículos de todo tipo por la Avenida Calle 80, también denominada Autopista Medellín, considerada una de las principales vías de acceso a la ciudad de Bogotá.

En el año 1961 se definió la Calle 80 como una vía tipo V-1⁹ transversal cuyas características permitían el tránsito de un alto porcentaje de vehículos comerciales dentro y fuera de la ciudad.¹⁰ Teniendo en cuenta lo observado a lo largo de la Calle 80 y con base en las características de una vía tipo V-1, no se cumplen los requerimientos para ser considerada una vía de este tipo, siendo el principal argumento que existen varios cruces peatonales a nivel en todo el corredor. De acuerdo a lo anterior podemos deducir que el represamiento vehicular que se presenta en la Calle 80 es debido a las múltiples intersecciones tanto vehiculares como peatonales reflejando demoras en recorridos.

Otro de los inconvenientes que predomina es el diseño de los accesos a la vía, entendiéndose esto como la falta de conectantes para los diferentes movimientos, donde la ruta de acceso y salida de la Calle 80 terminan siendo las vías locales de los barrios colindantes (Ejemplo: Calle 80 por Avenida ciudad de Cali). Otro factor negativo son los accesos vehiculares, esto teniendo en cuenta que dichos accesos a los flujos más fuertes o rápidos deben ser controlados para minimizar peligros y demoras, y es claro que no se cumple lo anterior.

Para los años 2000 y 2002 la mayor parte de las obras del IDU se concentraron en el desarrollo vial de troncales para Transmilenio, lo que permitió una nueva adecuación de la calle 80. Una de estas adecuaciones fue la construcción de dos carriles preferenciales para el nuevo sistema de transporte masivo de la ciudad, con esto se eliminarían las rutas de buses de servicio público y se implementarían rutas alimentadoras complementarias a este sistema y se reorganizaría el transporte

⁹ Vía tipo V-1: malla vial arterial principal, son vías de mayor jerarquía siendo una de sus características principales el movimiento rápido de tráfico de larga distancia donde no hay accesos peatonales o frontales.

¹⁰ Plan vial Acuerdo 38 de 1961, por el cual se fija el Plan Vial Piloto del Distrito Especial de Bogotá,

intermunicipal en esta zona, así mismo se realizó la intersección vial tipo retorno localizada a la altura de la carrera 121 donde se movilizan vehículos que ingresan y salen de la capital, vehículos y algunas rutas de transporte público del sector de Suba Lisboa, y vehículos que usan esta intersección para moverse dentro de la ciudad, generando un punto crítico y afectando el tránsito vehicular en los barrios circundantes de este sector.

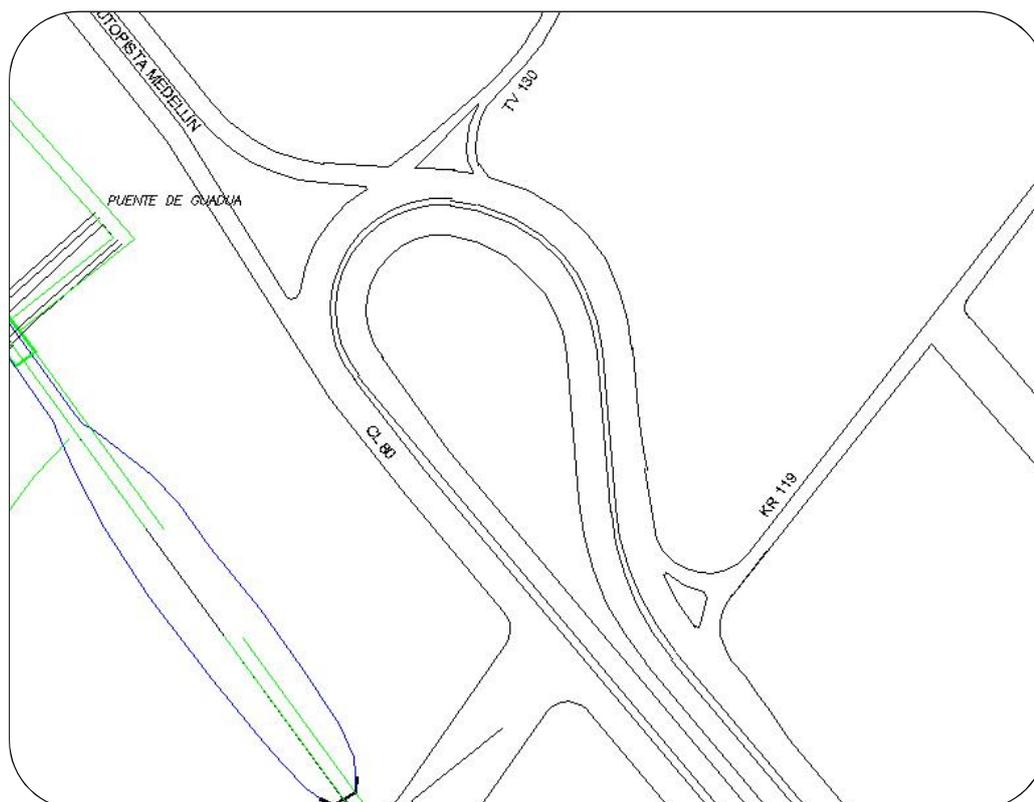


Ilustración 1 - Intersección CL 80 por TV 121. Fuente propia

Según estudios realizados por la Secretaria Distrital de Movilidad, en la ciudad existen 23 puntos de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte. Sin embargo, el último punto de monitoreo existente sobre la calle 80 está a la altura de la Avenida Ciudad de Cali, desatendiendo por completo el sector objeto de estudio.¹¹ El ente de control que actúa en este sector es la policía de tránsito. Sin embargo, las medidas que adoptan no brindan una solución definitiva recreando nuevamente el problema.

¹¹ SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD, Monitoreo Transito Y Transporte Urbano, 2013



Ilustración 2 - Intersección CL 80 por TV 121, fuente propia

Como se muestra en la ilustración 2, es notorio el alto flujo vehicular que transita por este corredor. Muchos vehículos provenientes de la localidad de Suba toman la Carrera 121 (*parte izq. De la foto*) a llegar a la Calle 80 para transitar a sus diferentes destinos. Por otro lado, es alto el número de vehículos que transitan por la Calle 80 para salir de la ciudad. Ya que esta intersección no tiene un control semafórico se presenta un cruce entre ambos flujos vehiculares.

Teniendo en cuenta lo anterior, se requiere realizar una evaluación a la intersección objeto de estudio con el propósito de evaluar alternativas que optimicen el flujo vehicular que transita por este sector. Con base en los estudios realizados en intersecciones viales que presentan condiciones similares, se toman a consideración las soluciones planteadas en ellas como referencia para el desarrollo del proyecto objeto de estudio.

Pregunta problema

¿Qué alternativa permite dar solución al represamiento vehicular en el retorno situado en la Calle 80 entre carreras 119 y 121 en la ciudad de Bogotá?

2.2. JUSTIFICACIÓN

El alto flujo vehicular que transita por la Avenida Calle 80 en ambos sentidos especialmente en las horas pico, intercepta con el flujo vehicular proveniente de Suba por la transversal 121, generando así un punto crítico tanto para los vehículos como para los peatones que transitan allí, los tiempos de recorrido en toda la intersección son muy largos teniendo en cuenta los trayectos tan cortos, lo anterior se evidencia claramente en todos los vehículos que pretenden salir de la ciudad donde las velocidades promedio no alcanzan a superar los 20 km/h en horas pico, esto también es ocasionado por el cruce generado con los vehículos que salen de Suba, donde cada vehículo busca llegar lo más pronto a su lugar de destino y sabiendo que no existe ningún tipo de control semafórico todos cruzan según su oportunidad o astucia frente al volante, esto solo se traduce en desorden y más trancón represado, por otro lado el constante flujo de vehículos pesados, en especial buses de servicio público e intermunicipales que emplean las esquinas de la intersección como paraderos.

Todo lo anterior en conjunto hace necesario que se plantee una propuesta que garantice a los usuarios una disminución en los tiempos de recorrido a todos los usuarios en sus trayectos diarios, mejorando el nivel de servicio y en general una mejor calidad de vida para quienes transitan el acceso a la ciudad de Bogotá.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. General

Plantear una alternativa de solución a la congestión vehicular presentada en el retorno de la Avenida Calle 80 entre carreras 119 y 121 en la ciudad de Bogotá D.C.

2.3.2. Específicos

Identificar los principales factores que intervienen en el problema de tránsito que se presenta en la intersección vial de la Avenida Calle 80 entre carreras 119 y 121.

Determinar condiciones operacionales del sitio de estudio mediante aforos de volúmenes y velocidades vehiculares.

Identificar puntos conflictos dentro de la intersección de estudio.

Establecer condiciones de capacidades y niveles de servicio de la intersección de estudio.

Analizar los resultados obtenidos del estudio realizado en la intersección vial y plantear alternativas de solución mediante software de modelación.

3. MARCOS DE REFERENCIA

3.1. ANTECEDENTES

Según Carlos Pantoja y Hugo Suarez, estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, en su trabajo de grado denominado PREDISEÑO GEOMETRICO A NIVEL Y A DESNIVEL DE LA INTERSECCION EL JAZMIN se plantearon tres alternativas de un pre diseño geométrico identificando volúmenes existentes para su realización, en el sitio denominado El Jazmín, localizado a 5 kilómetros del municipio risaraldense de Santa Rosa de Cabal, en la vía que conduce al municipio de Chinchiná, en el departamento de Caldas.

Gregorio Alexis Posada Garcés, estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, en su trabajo de grado denominado DISEÑO GEOMETRICO DE UNA GLORIETA EN LA INTERSECCION VEHICULAR DEL TRAMO CERITOS-CAUYA PR 36+750 ENTRADA AL MUNICIPIO DE BELEN DE UMBRIA RISARALDA, Donde se determinaron los parámetros de transito necesarios para el dimensionamiento geométrico de la intersección del tramo Ceritos-Cauya entrada al municipio de Belén de Umbria Risaralda. En los últimos años ha presentado un crecimiento comercial y social muy marcado, también se vienen desarrollando proyectos encaminados a el fomento del turismo en los sitios de interés con que cuenta el municipio, además del acondicionamiento de sitios rurales destinados al ecoturismo. Es por esto que se pretende lograr un diseño geométrico armónico de la intersección a nivel en el tramo Cerritos-Cauya entrada al municipio de Belén de Umbría – Risaralda.

3.2. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

3.2.1. Intersecciones viales

“Las intersecciones son dispositivos viales donde se encuentran dos o más carreteras sea a nivel o a desnivel, donde se producen cruces y cambios en las trayectorias de los vehículos”. INVIAS 2008.

Las intersecciones tienen una clasificación que van desde la más simples hasta las más complejas, las cuales son necesarias analizar para la toma de una decisión. Los modelos más comunes sin abarcar todos los que se podrían presentar son:

Intersecciones a nivel sin canalizar, canalizadas, glorietas e intersecciones a desnivel.

Las intersecciones que se presentan en un mismo plano pueden ser con prioridad de paso y con señalización que regule su flujo, con ramales de canalización y direccionamiento de tránsito, semaforizadas, con carriles adicionales para cambios de velocidad o de flujo continuo.

Las intersecciones también reciben el nombre de intercambios, o pasos, las vías que hacen parte de la intersección pueden también recibir el nombre de ramas, rampas, enlaces.

Tipos de intersecciones viales

Se realizará la descripción breve de los tipos de intersecciones tanto a nivel como a desnivel que se pueden encontrar. Así mismo, de acuerdo a las condiciones físicas del terreno y su topografía se determinará más adelante la intersección más viable que solucione la problemática planteada en el presente proyecto.

3.2.2. Intersecciones a nivel

- Glorietas
- Intersecciones a nivel canalizadas y sin canalizar
- Intersecciones a nivel simples sin semáforos
- Intersecciones a nivel semaforizadas

Dentro de los diferentes tipos de intersecciones las glorietas son objeto de estudio debido a que pueden ser parte de las alternativas de solución.

Las glorietas

Es una solución de intersección a nivel, que se caracteriza porque los accesos que confluyen son comunicados mediante un anillo en donde la circulación se realiza alrededor de una isleta central.

En este tipo de intersección los trayectos vehiculares convergen y divergen, por lo que se reducen los puntos de conflicto. “La operación en las glorietas se basa en el derecho a la vía que tienen los vehículos que circulan alrededor de la isla central.

Los vehículos que llegan a la glorieta deben esperar por una brecha en el flujo rotatorio que les permita ingresar al mismo".¹²

Esquema básico de una intersección tipo Glorieta

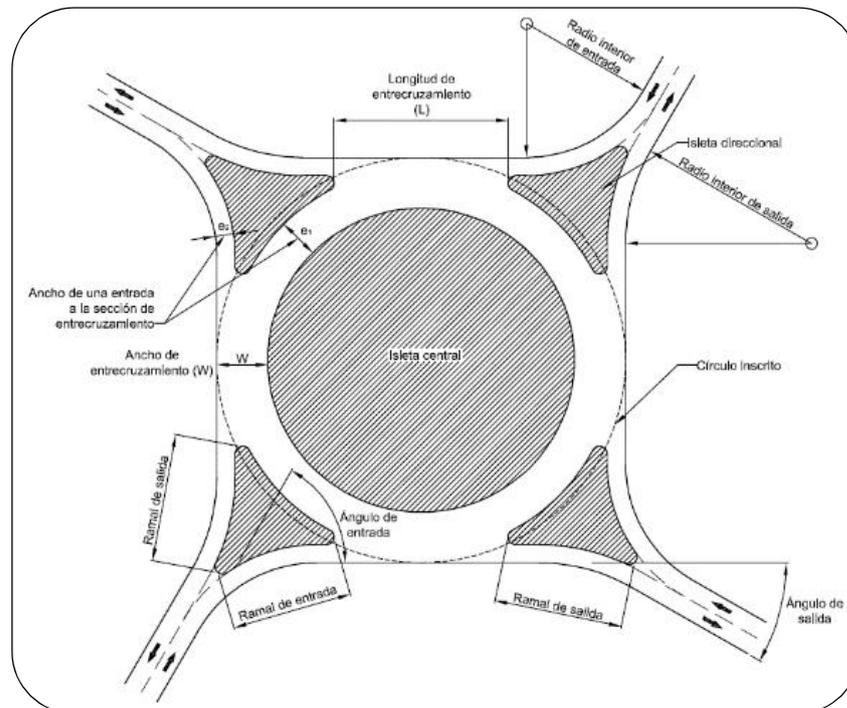


Ilustración 3 - Esquema básico de una intersección tipo Glorieta. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 208.

Donde:

- Q_p : Capacidad de la sección de entrecruzamiento, como tránsito mixto, en vehículos / hora.
- W : Ancho de la sección de entrecruzamiento, en metros.
- e : Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, en metros.
- e_1, e_2 : Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento, en metros.
- L : Longitud de la sección de entrecruzamiento, en metros.

Ventajas de las Glorietas

¹² PANTOJA SANTANDER, Carlos Andrés. Prediseño geométrico a nivel y a desnivel de la Intersección el jazmín. Manizales, 2005, 97p. Trabajo de investigación (especialista en vías y transportes). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

- La glorieta proporciona un movimiento continuo y con mayor orden a una baja velocidad dado que solo se maneja un sentido de circulación. En lugar de entrecruzamientos se manejan cruces oblicuos y por ende los conflictos de cruces directos quedan eliminados aunque existe una longitud adicional de recorrido excepto por los giros a la derecha.
- Son especialmente funcionales para intercambios de cinco o más accesos donde se tengan calzadas separadas y con demandas equilibradas, de acuerdo a esto último el número de accidentes es mucho menor, así como su respectivo mantenimiento es más bajo al de una intersección semaforizada.
- Sirven para simplificar proyectos que podrían ser más complejos si se realizaran con otro tipo de intersección.

Desventajas de las Glorietas

- La capacidad de una glorieta es más bajo que en una intersección canalizada de una forma más adecuada, además que se pierde jerarquía vial y prioridad en todos los tramos.
- Los accesos a la glorieta son adecuados mientras no sean de más de tres carriles, dado que siendo más y funcionaran a capacidad serian flujos demasiado grandes que no son funcionales para este tipo de intersección.
- La topografía para este tipo de intersecciones debe ser relativamente pareja sin muchos cambios de nivel, lo cual restringe su uso en estos casos, además se requieren grandes longitudes si las vías que se interceptan son de alta velocidad y se agudiza el problema si son más de cuatro accesos los que llegan a la glorieta.

Criterios de Diseño - INVIAS - 2008

De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, 2008 del Instituto Nacional de Vías, vigente en Colombia, los criterios básicos para el diseño de glorietas son descritos en el cuadro mostrado a continuación.

Tabla 1 - Criterios de diseño de glorietas. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 209.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MAGNITUD	
Diámetro mínimo de la isleta central	m	25	
Diámetro mínimo del círculo inscrito	m	50	
Relación W/L (sección de entrecruzamiento)		Entre 0,25 y 0,40	
Ancho sección de entrecruzamiento (W)	m	Máximo 15	
Radio interior mínimo en los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	40
Ángulo ideal de entrada		60°	
Ángulo ideal de salida		30°	

Intersección a nivel sin canalizar

Esquema base intersección en "T" o "Y"

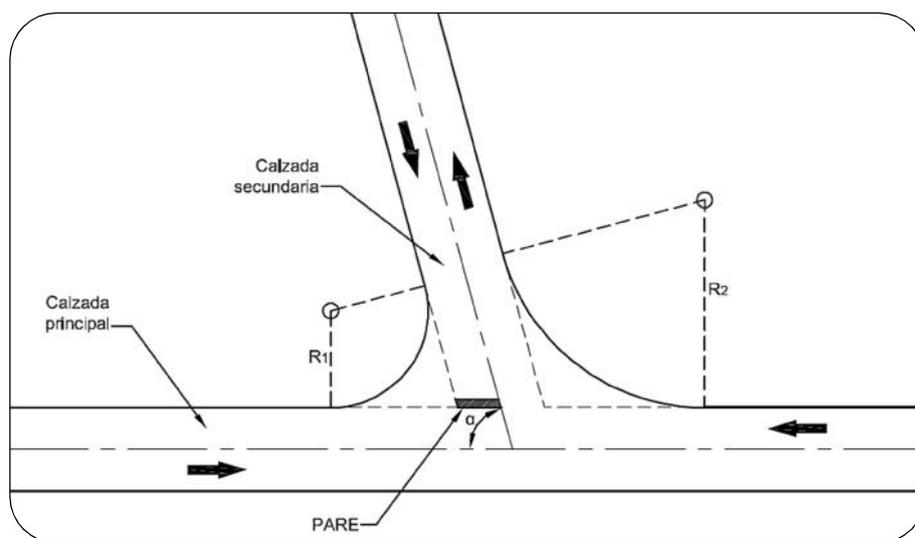


Ilustración 4 - Intersección en "T" o "Y". INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 196.

Esquema básico intersección en Cruz "+" o Equis "x"

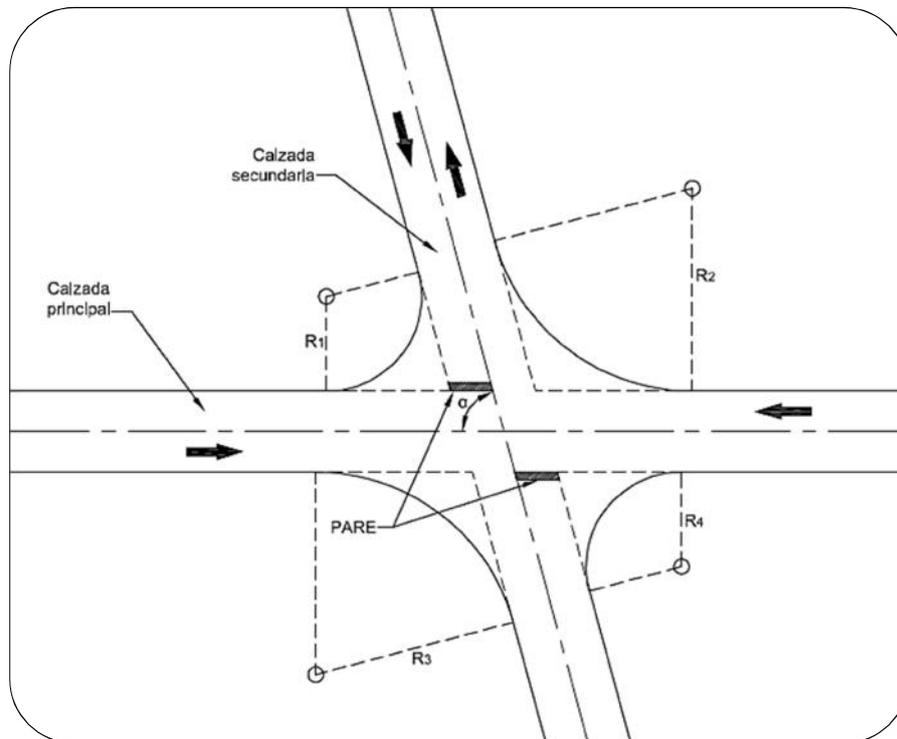


Ilustración 5 - Intersección en Cruz “+” o Equis “x”. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 196.

Criterios básicos de diseño:¹³

- 1) El ángulo de entrada (α) debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
- 2) El Radio mínimo de las curvas R1, R2, R3 y R4 debe corresponder al Radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado.
- 3) La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyen debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
- 4) Salvo que la intersección se encuentre en terreno plano, se debe diseñar en la calzada secundaria una curva vertical cuyo PTV coincida con el borde de la calzada principal y de longitud superior a treinta metros (30 m).
- 5) La intersección debe satisfacer la Distancia de visibilidad de cruce (DC).

Intersección a nivel canalizada

¹³ INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 197.

Esquema base intersección en "T" o "Y"

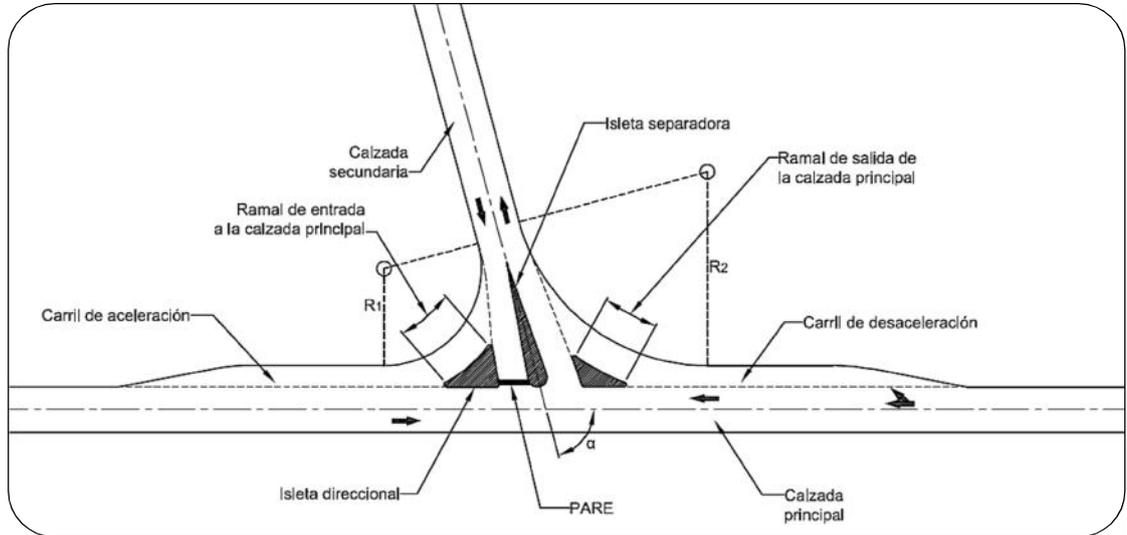


Ilustración 6 - Intersección en "T" o "Y". INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 197.

Esquema base intersección a nivel en "T" o "Y" con separador y carril de giro a la izquierda

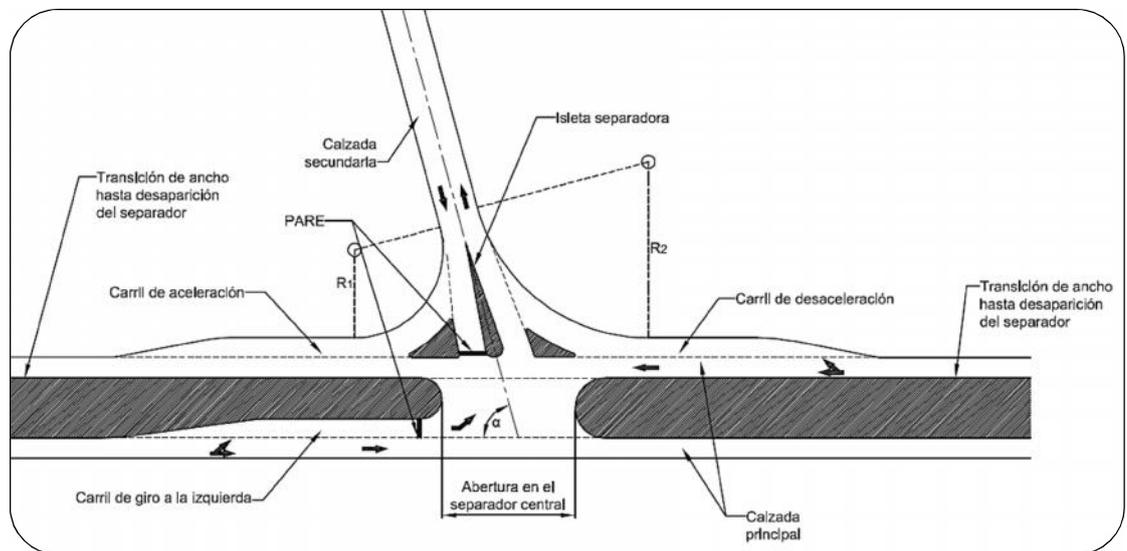


Ilustración 7 - Intersección a nivel en "T" o "Y". INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 198.

Esquema básico intersección en Cruz "+" o Equis "x"

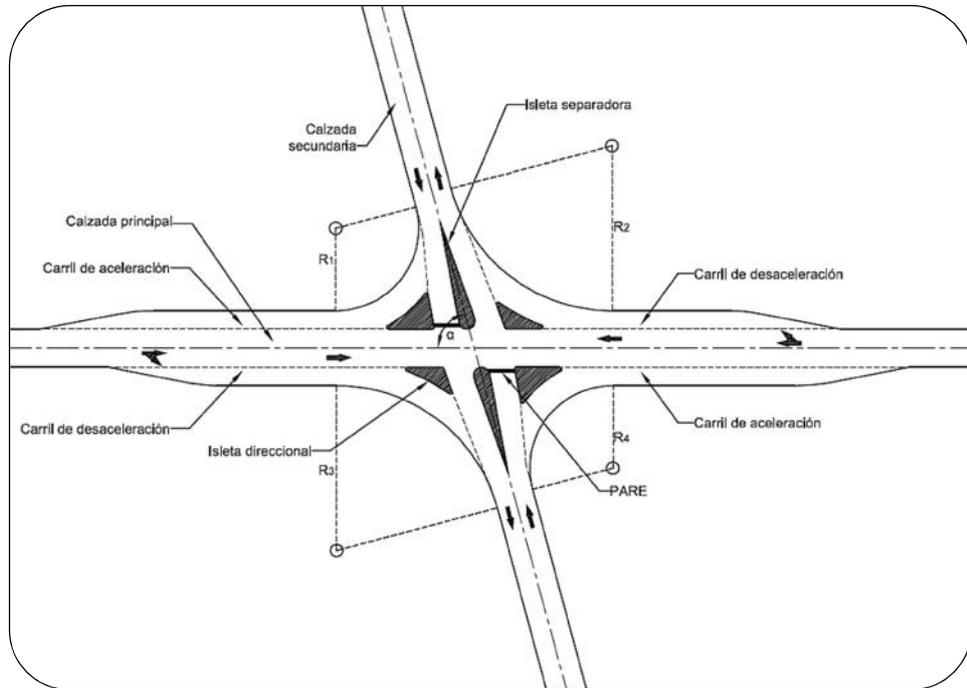


Ilustración 8 – Esquema básico intersección en Cruz “+” o Equis “x”. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 198.

Esquema básico intersección en Cruz “+” o Equis “x” con separador y carril de giro a la izquierda.

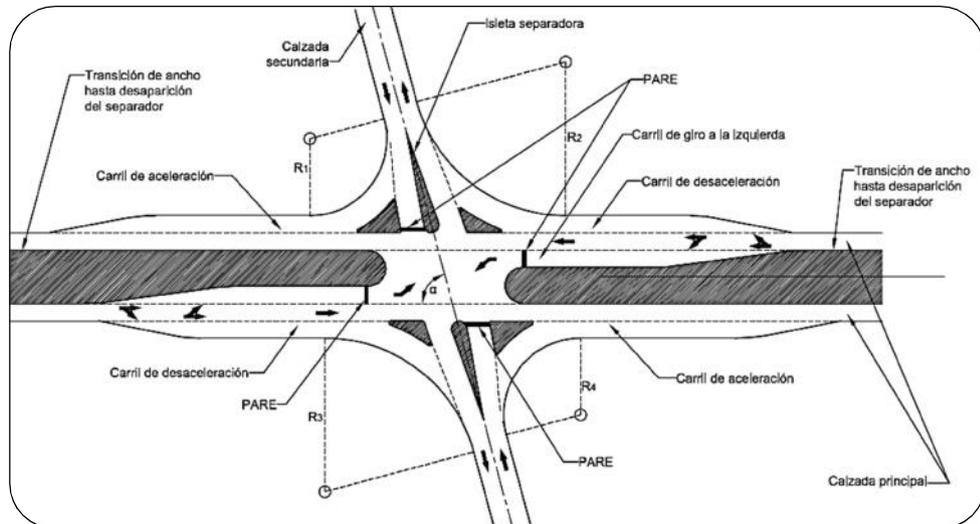


Ilustración 9 - Intersección en Cruz “+” o Equis “x” con separador. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 199.

Criterios básicos de diseño:¹⁴

- 1) El ángulo de entrada (α) debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
- 2) El Radio mínimo de las curvas R1, R2, R3 y R4 debe corresponder al Radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado.
- 3) La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyan debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
- 4) Salvo que la intersección se encuentre en terreno plano, se debe diseñar en la calzada secundaria una curva vertical cuyo PTV coincida con el borde de la calzada principal y de longitud superior a treinta metros (30 m).
- 5) La intersección debe satisfacer la Distancia de visibilidad de cruce (DC).
- 6) Diseño de carriles de cambio de velocidad

Antes de entrar en un ramal de salida (o de enlace en el caso de intersecciones a desnivel), normalmente los vehículos tienen que frenar, así como acelerar al salir de un ramal de entrada (o de enlace en el caso de intersecciones a desnivel), ya que su velocidad es inferior a la de la vía principal. Para que estos cambios de velocidad no generen fuertes perturbaciones al tránsito, máxime cuando los volúmenes sean altos, se deben habilitar carriles especiales, que permitan a los vehículos hacer sus cambios de velocidad fuera de la calzada.

- Carriles de aceleración

Se diseña un carril de aceleración para que los vehículos que deben incorporarse a la calzada principal puedan hacerlo con una velocidad similar a la de los vehículos que circulan por ésta. Los carriles de aceleración deben ser paralelos a la calzada principal.

- Carriles de desaceleración

Tienen por objeto permitir que los vehículos que vayan a ingresar en un ramal de salida o en un ramal de enlace puedan reducir su velocidad hasta alcanzar la de la calzada secundaria o la del ramal de enlace.

¹⁴ INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 197.

3.2.3. Intersecciones a desnivel

Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS, un paso a desnivel es un conjunto de ramales que se proyecta para facilitar el paso del tránsito entre unas carreteras que se cruzan en niveles diferentes. También puede ser la zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todos los movimientos posibles de cambio de una carretera a otra, con el mínimo de puntos de conflicto posible.

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.

En general, una intersección solucionada a diferentes niveles requiere inversiones importantes, 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.

Tipos de intersecciones a desnivel

Esquema base intersección a desnivel tipo "Trompeta" en carreteras no divididas

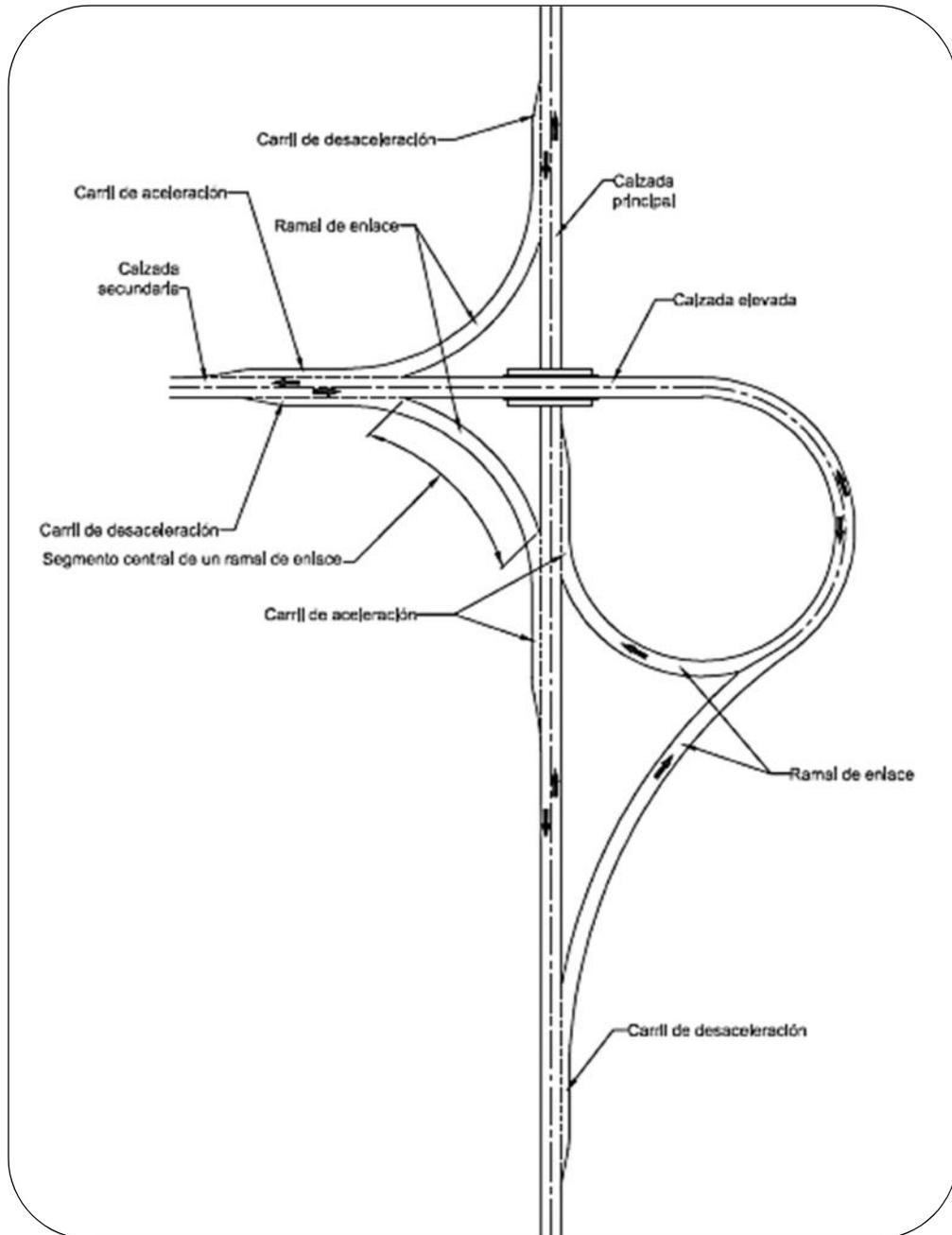


Ilustración 10 - Intersección a desnivel tipo "Trompeta". INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 210.

Esquema base intersección a desnivel tipo "Trompeta" en carreteras divididas.

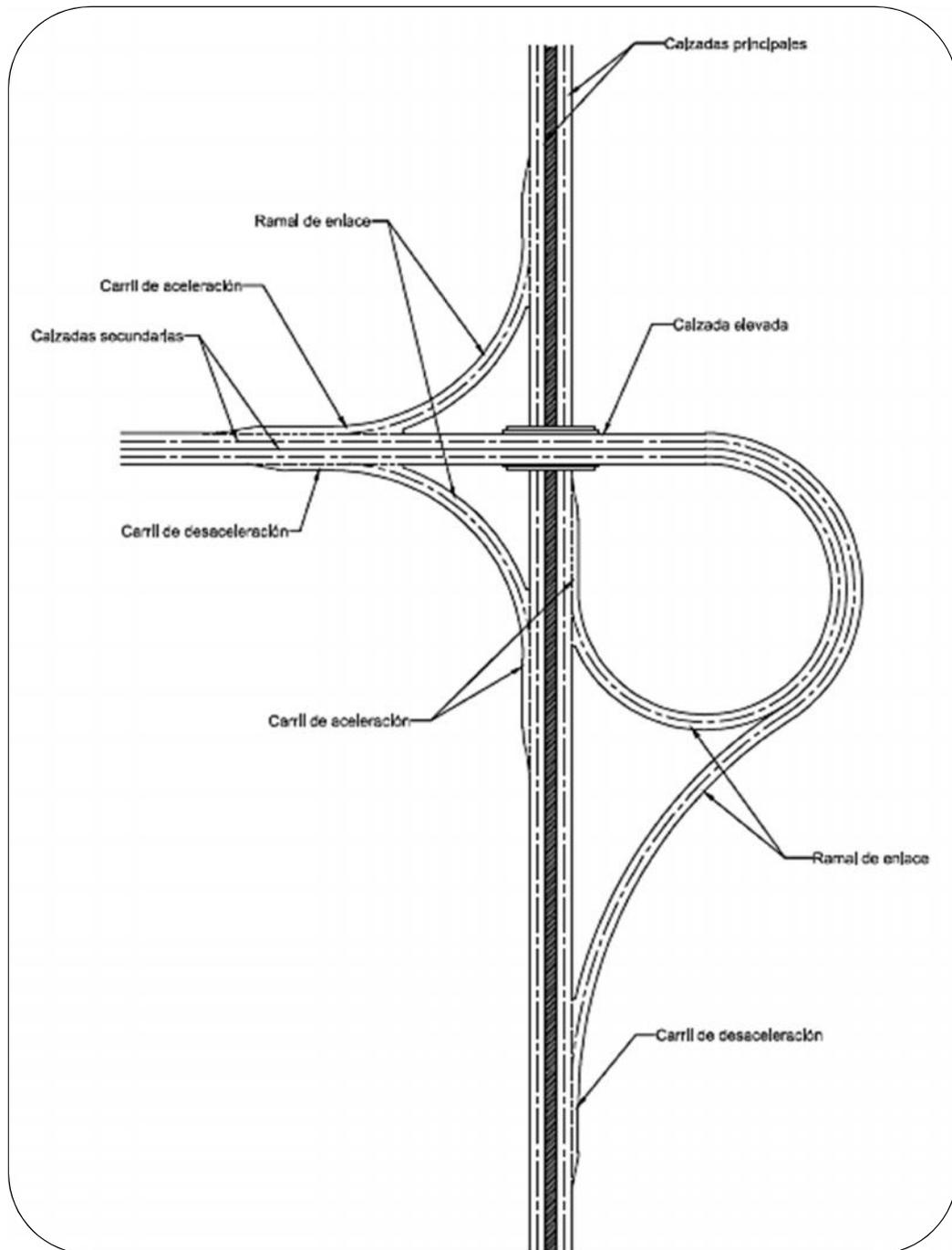


Ilustración 11 - Intersección a desnivel tipo "Trompeta" en carreteras divididas. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 211.

Esquema base intersección a desnivel tipo "Trébol" en carreteras no divididas.

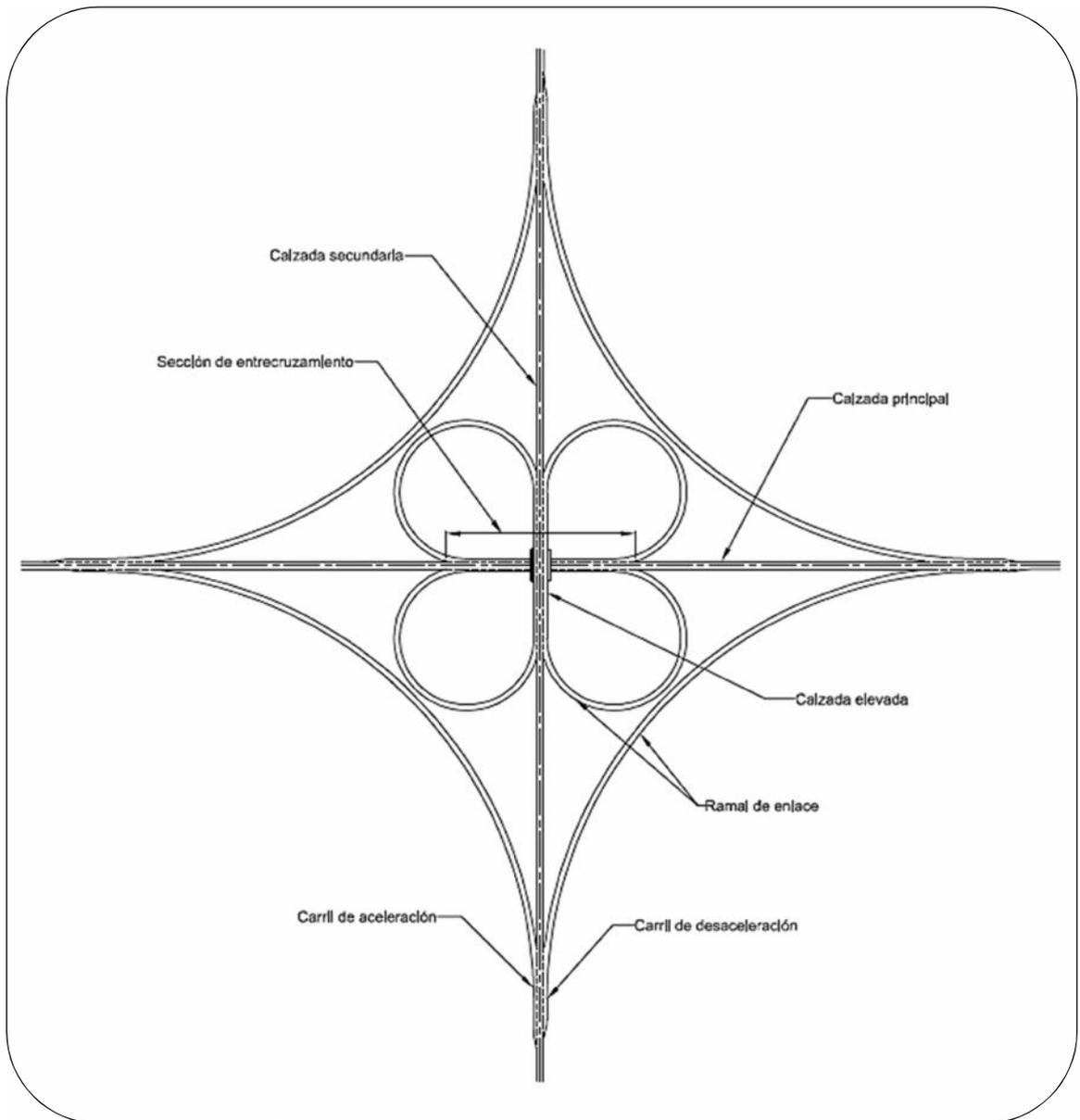


Ilustración 12 - Intersección a desnivel tipo "Trébol". INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 212.

Esquema base intersección a desnivel tipo "Trébol" en carreteras divididas.

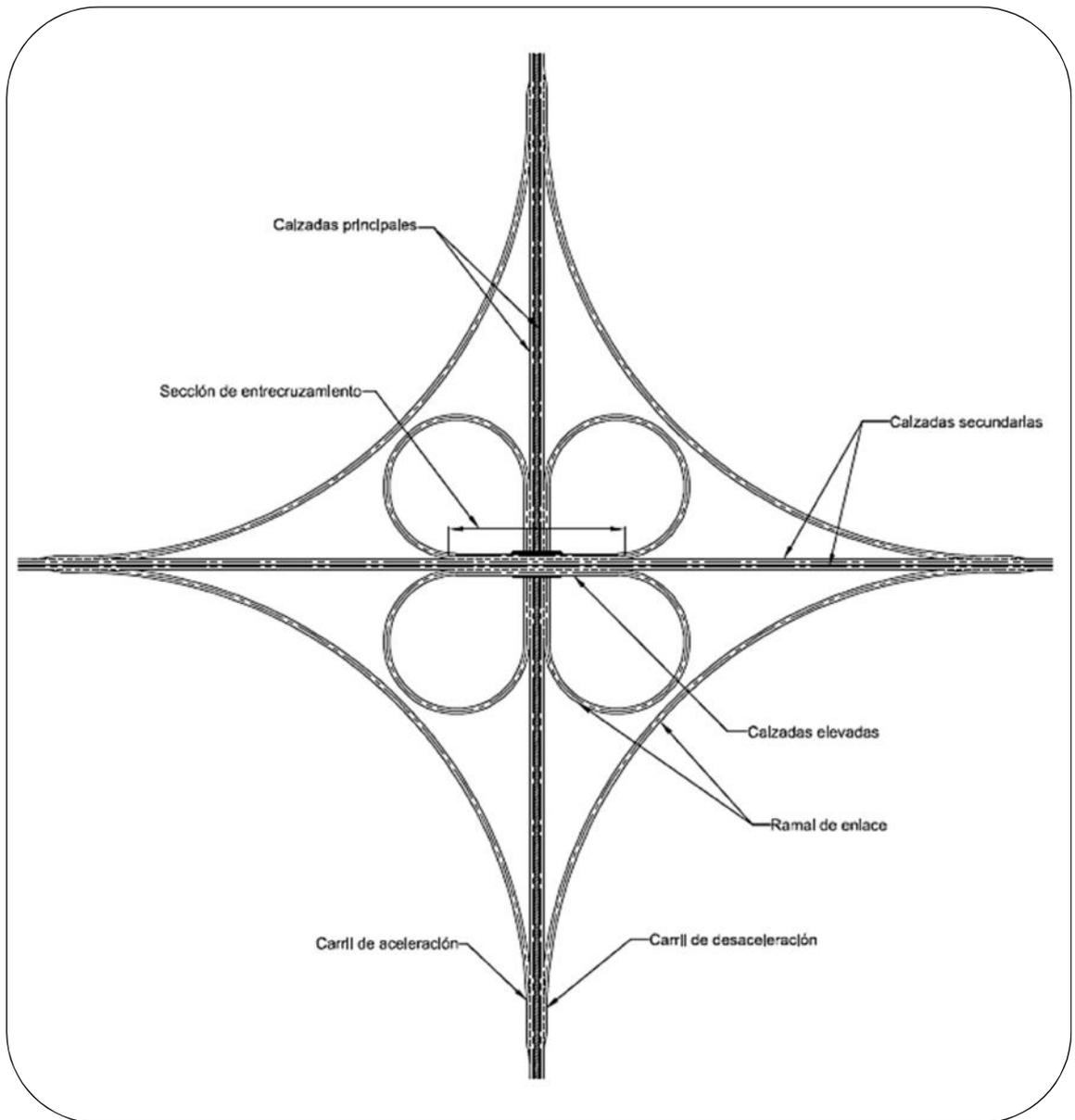


Ilustración 13 - Intersección a desnivel tipo "Trébol" en carreteras divididas. INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, p. 213.

3.2.4. Planeación del transporte

Al momento de llevar a cabo la planeación de una intersección, es necesario dar solución a una serie de interrogantes que deben plantearse en relación a factores como:

- *Los volúmenes de tránsito*, se debe determinar la escala del problema y cual será en el futuro.
- *El tipo de intersección*, establecer cuál es el intercambio más adecuado para ese problema, en función del tránsito, el tipo de vía, los recursos disponibles, el espacio disponible, entre otras variables a considerar.
- *El crecimiento de la demanda*, determinar cómo afecta el sistema propuesto a las futuras demandas.
- *Impactos* que genere el proyecto y las medidas a tomar para mitigarlos.
- *Recursos disponibles*, saber cómo es la mejor manera de administrar los recursos disponibles, sin sacrificar las soluciones futuras.
- *Comodidad del sistema*, buscar que el diseño de la intersección provea comodidad al conductor en aspectos de geometría, uniformidad y preferencias.
- *Eficiencia*, factor evaluable mediante la velocidad y capacidad para la totalidad de los usuarios, ya sean automóviles, buses, camiones, peatones o bicicletas.

En el proceso de planeación de un proyecto vial, como lo es un intersección, se presentan alternativas diversas en cuanto a la solución del problema de tránsito como tal, situación que supone la presencia de varias “estrategias de solución”. Dentro de ellas se presentan estrategias a corto y mediano plazo, y estrategias a largo plazo o de planeación estratégica. Las características de cada una de ellas se resumen en los siguientes apartes

Estrategias de planeación a corto y mediano plazo

Son las cuales proveen una solución parcial en el tiempo, estas medidas se aplican de acuerdo a la gravedad del problema, de la importancia de la vía, entre otros. Unas de las muchas medidas que se pueden implementar para la mejora del problema, es la semaforización o canalizaciones del tráfico existente, aunque existen o se pueden implementar muchas otras, todo de acuerdo a la situación que se presente en el lugar de conflicto.

Este tipo de estrategias requieren una inversión menor pero demandan un seguimiento continuo desde su implementación, además se debe tener en cuenta

que estas estrategias tienden a ser más experimentales, modificando la oferta y demanda del sector como parte de las medidas tomadas.

Estrategias de planeación a largo plazo

Este tipo de estrategias buscan dar una solución definitiva al problema de tránsito que se está evaluando, es bastante aplicado a problemas con intersecciones viales.

Se caracteriza por las grandes inversiones, se deben hacer estimativos para demandas futuras, esto con el propósito de mitigar el problema como bien lo dice su nombre, en un largo plazo, también se deben tener en cuenta los impactos socio-económicos y ambientales y la influencia que tienen estos factores en la demanda. Se deben tener en cuenta factores como el uso del suelo, distribuciones demográficas, costos de operación y demoras.

3.2.5. Factores considerados en el diseño

Se deben considerar factores de diferente naturaleza, todos estos en conjunto permiten que el proyecto sea integral y eficiente sin llegar a centrarse exclusivamente en la parte técnica, estos factores son:

Factores humanos: se deben mirar la capacidad de los conductores en el momento de tomar decisiones así como el tiempo y reacción para hacerlo. Se deben considerar factores como la capacidad, hora, tiempos de maniobra, tamaño y forma de los vehículos, velocidades y registros de accidentalidad.

Factores físicos: se debe relacionar el entorno físico donde se desarrolla el proyecto, como la topografía existente, uso actual del suelo, ángulos de intersección, velocidades, secciones, dispositivos de control, señalización, iluminación, área total de la intersección, drenajes, tipo de pavimentos, afectaciones prediales, posibilidades de ampliación y detalles en general.

Factores socio-económicos: en este aspecto se tienen en cuenta los costos de operación y mantenimiento, restricciones de accesos y consumos de energía.

Factores ambientales: incrementos en las poluciones, ruidos, corredores y contaminación visual de la zona, así como cualquier factor que afecte al usuario.¹⁵

3.2.6. Movimientos en una intersección

Representación esquemática de los movimientos en una intersección

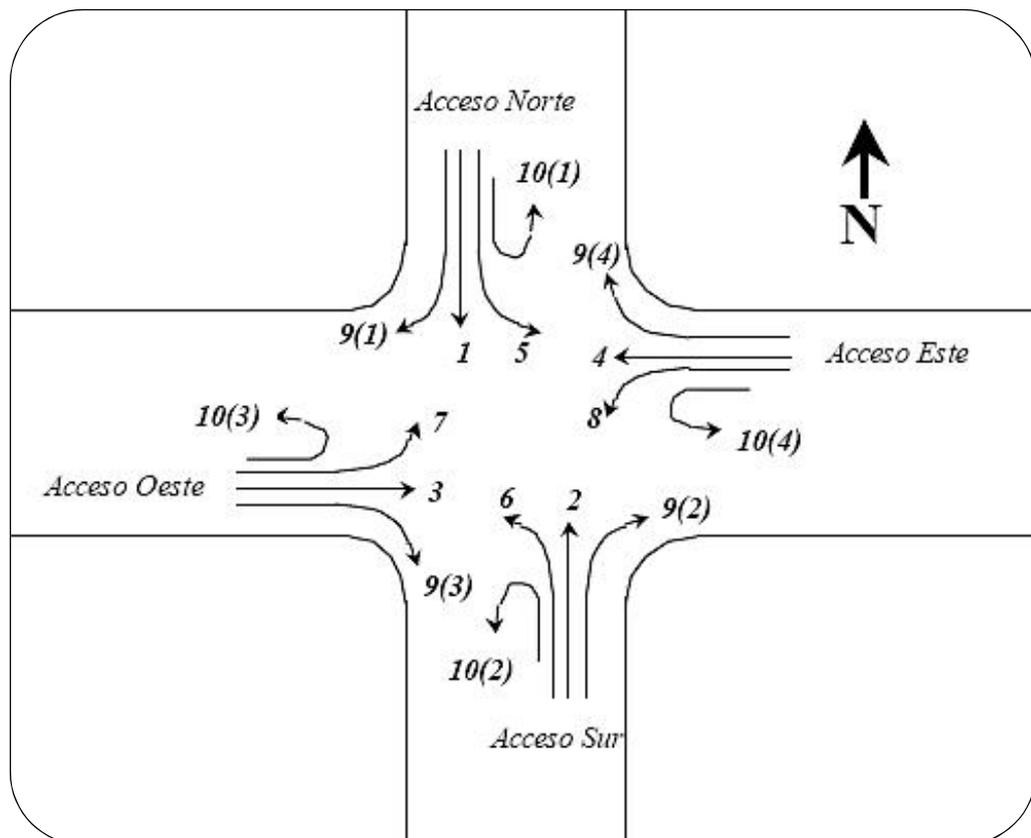


Ilustración 14 - Representación movimientos en una intersección. Manual STT - 1998

De acuerdo al esquema anterior podemos identificar los movimientos y la respectiva codificación para una intersección cualquiera.

¹⁵ PANTOJA SANTANDER, Carlos Andrés. Prediseño geométrico a nivel y a desnivel de la Intersección el jazmín. Manizales, 2005, 97p. Trabajo de investigación (especialista en vías y transportes). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

3.2.7. Capacidad vial

El nivel de servicio es una medida cualitativa subjetiva que describe las condiciones de operación de los flujos vehiculares. Los factores que determinan el nivel de servicio de una vía se definen por la velocidad y tiempo de recorrido, la comodidad y seguridad vial. Para ello se han definido las siguientes categorías que describen según los factores antes mencionados:

3.2.7.1. Nivel de servicio A:

Representa un flujo vehicular libre en una vía la cual presenta condiciones geométricas adecuadas. Existe libertad de conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobras dentro del flujo vehicular es alta, al no existir interferencia o restricción geométrica alguna por su topografía y su estructura. La comodidad que brinda este nivel es *Excelente*.¹⁶



Ilustración 15 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.

3.2.7.2. Nivel de servicio B:

Se presentan reducciones de velocidad a razón de la configuración geométrica y restricciones al flujo vehicular. Existe disminución en la libertad de conducción y a las maniobras dentro del flujo vehicular ya que se presentan pequeñas interferencias con otros vehículos o por existir pocas restricciones. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es *Bueno*.¹⁷

¹⁶ REYES. Op. Cit., p. 363.

¹⁷ Ibid. p. 363.

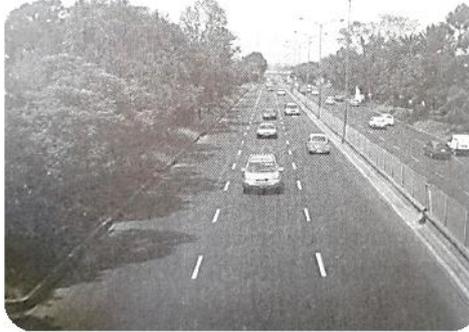


Ilustración 16 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.

3.2.7.3. Nivel de servicio C

Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con otros vehículos o existir deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es *Adecuado*.¹⁸



Ilustración 17 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.

3.2.7.4. Nivel de servicio D

El flujo vehicular todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No hay libertad para conducir con la velocidad deseada dentro del flujo vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir

¹⁸ REYES. Op. Cit., p. 363.

condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es *Deficiente*.¹⁹



Ilustración 18 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.

3.2.7.5. Nivel de servicio E.

Presenta la circulación del flujo vehicular a capacidad cuando las velocidades son bajas pero fluye el tránsito sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a capacidad, en condiciones de inseguridad.²⁰



Ilustración 19 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.

¹⁹ REYES. Op. Cit., p. 363.

²⁰ Ibid. p. 363.

3.2.7.6. Nivel de servicio F

Existe congestión en la circulación vehicular, ya que el volumen de demanda es superior a la capacidad que ofrece la vía rompiendo así la continuidad del flujo. A raíz de esto las velocidades son inferiores a la velocidad de capacidad y el flujo es muy irregular. Se forman largas colas y las operaciones se caracterizan por paradas y avances paulatinos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente.²¹



Ilustración 20 - REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G., James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Octava edición. México, Librería Pitágoras, 2007. p. 362.

3.2.7.7. Capacidad de la vía

Se define como la tasa máxima de flujo que soporta la vía, es decir, el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un intervalo de tiempo, bajo las condiciones de la infraestructura vial y los dispositivos de control.

Para definir esto, se deben contemplar las demandas en las horas pico y las no pico, en el Tránsito promedio Diario. Para el diseño de intersecciones urbanas se deben tener en cuenta los flujos vehiculares de la hora pico de la mañana, la tarde y otras que se puedan tener durante el día.

²¹ REYES. Op. Cit., p. 364.

3.3. MARCO GEOGRÁFICO

La situación en estudio se encuentra ubicada sobre la Calle 80 a la altura de la carrera 121 en la parte nor-occidental de la ciudad de Bogotá, del departamento de Cundinamarca. Al norte conecta con la localidad de Suba por la carrera 121, al occidente colinda con la Autopista Medellín y municipios como Cota y Siberia, en la ilustración 8 se puede apreciar la localización del proyecto.

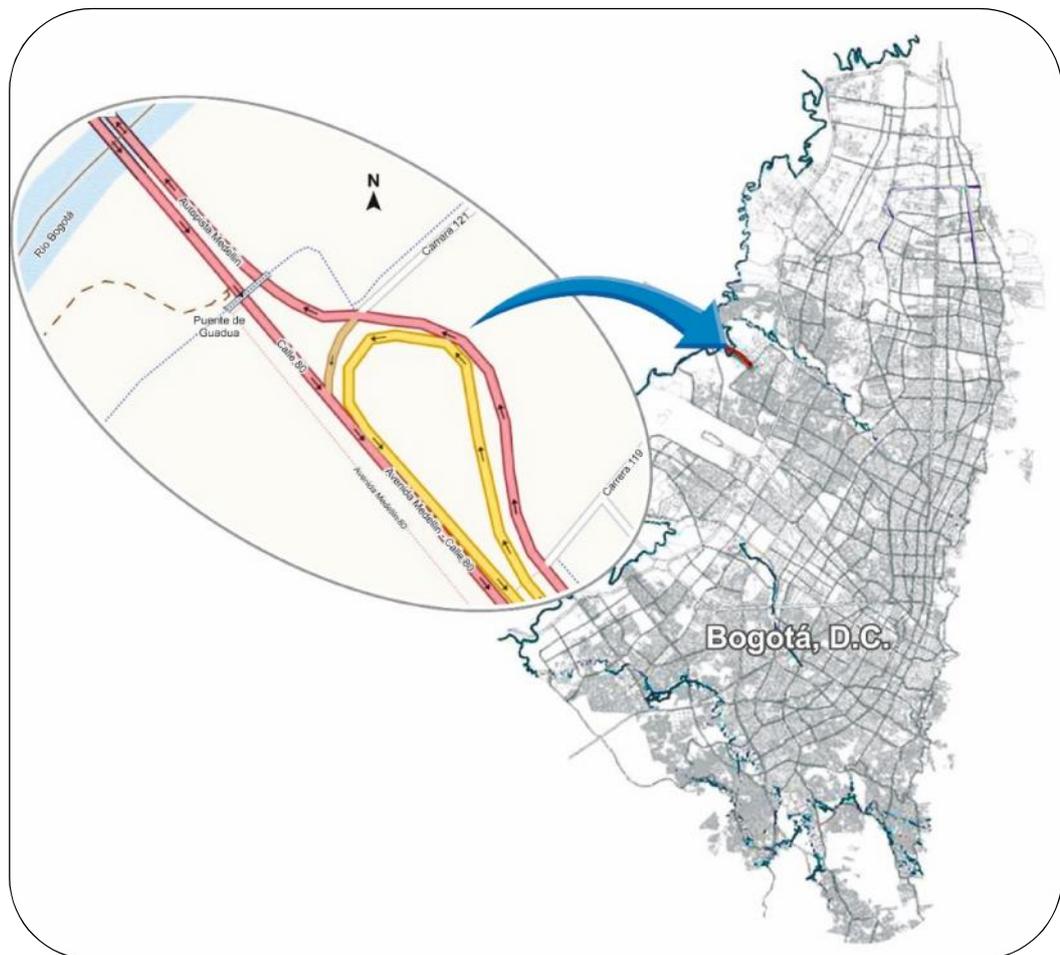


Ilustración 21 - Localización geográfica de la intersección. Fuente propia

3.4. MARCO LEGAL

Para nuestro proyecto jurídicamente tenemos que basarnos en la siguiente información la cual actualmente se encuentra vigente y es necesario tenerla en cuenta para una adecuada realización del proyecto.

Ley 769 del 6 de agosto de 2002	El Manual de señalización vial es un dispositivo para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclo rutas de Colombia, de conformidad con los artículos 5, 113, 115 y el parágrafo del artículo 101.
Resolución 744 del 4 de marzo de 2009	Con el cual se actualiza el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.
Resolución 4577 del 23 de septiembre de 2009	Por la cual se modifica parcialmente el Manual de Señalización Vial – Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclorrutas de Colombia, adoptado mediante la Resolución No. 001050 del 5 de mayo de 2004.
Resolución 1376 del 26 de mayo de 2014	Por el cual se actualizan las especificaciones generales de construcción para carreteras.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Vías y transportes para el desarrollo de la infraestructura física, regional, sostenible, competitiva, económica y social.

4.2. SUBLÍNEA

Planeación del Transporte

4.3. TÍTULO

Planteamiento de soluciones a la congestión vehicular presentada en el retorno de la avenida calle 80 entre carreras 119 y 121 en la ciudad de Bogotá D.C

4.4. ENFOQUE

Cuantitativo: Utiliza la recolección y análisis de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

De acuerdo a lo anterior y sabiendo que para la realización de este proyecto se deben hacer aforos vehiculares, procesamiento de la información, modulación en software y establecer la mejor alternativa que dé solución al conflicto dado, el enfoque a utilizar es el **Cuantitativo**.

4.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Proyectiva: Se basa en la elaboración de una propuesta o modelo como solución a un problema o necesidad, implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, mas no necesariamente ejecutar la propuesta. Dentro de este tipo de investigación se abarcan los “proyectos factibles” y las investigaciones que conllevan el diseño o creación de algo.

Teniendo en cuenta la definición anterior y de acuerdo a los objetivos y alcances mencionados en el documento, el tipo de investigación es **Proyectiva**.

4.6. TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para poder comenzar con la investigación se usaron las siguientes técnicas de recolección de datos.

- Observación: lo primero que se debe hacer, es una inspección visual del lugar donde se desarrollará el proyecto, acá es donde se visualiza desde una perspectiva más personal cuales pueden ser los puntos de conflicto y las características generales del lugar.
- Aforos: con este método se pretende tener una mayor exactitud de cuáles son los volúmenes vehiculares actuales en la zona y como afecta cada uno al problema al cual se pretende dar solución.

4.7. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la problemática se plantean las siguientes fases a seguir durante el desarrollo de la investigación, con las cuales se van a identificar los factores que ocasionan la congestión, su correcta interpretación y las respectivas alternativas de acuerdo a la información recopilada y lo arrojado por el software escogido.

4.7.1. Identificación y caracterización del problema

Por medio de un reconocimiento visual en el lugar del proyecto, se obtendrá de una manera más detallada la configuración de toda la intersección en cuanto a número de carriles, entradas y salidas de la intersección, tipo de vehículos que transitan en la misma, paradas de ascenso y descenso de pasajeros y una visualización más a fondo de los movimientos existentes en la intersección con una respectiva descripción, se resaltarán los puntos de conflictos de acuerdo a la inspección visual.

4.7.2. Volúmenes vehiculares y cálculo de información

Se realizarán los respectivos aforos vehiculares en el sitio del proyecto, teniendo en cuenta la caracterización y configuración anteriormente encontrada con el propósito de determinar con exactitud los tipos de vehículos, movimientos que realiza cada uno y el volumen de los mismos, luego por medio de una conversión de los volúmenes a vehículos equivalentes encontraremos la hora de máxima demanda y se trabajará con esta por ser la más crítica, de acuerdo a lo anterior tendremos los porcentajes por tipo de vehículo en la hora encontrada, datos que se deben ingresar al software para la respectiva modelación.

4.7.3. Capacidades y niveles de servicio

En este punto, se concentrará en evaluar las capacidades de la vía, los respectivos niveles de servicio, las tasas de flujo, densidades y velocidades a flujo libre de la intersección, de acuerdo a esta información se tiene la información necesaria para poder realizar las comparaciones con las alternativas que se planteen y la información arrojada por el software.

4.7.4. Alternativas de solución mediante modelación

Se plantean alternativas posibles que puedan dar solución y ofrezcan mejoras a la intersección, lo anterior se evaluará mediante la información ingresada en el software, el cual nos arrojará las nuevas velocidades de flujo de acuerdo a cada alternativa, las densidades y poder determinar cuál de las alternativas es más viable implementar con la cual podamos dar cumplimiento a los objetivos planteados inicialmente.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

5.1.1. Caracterización de las vías

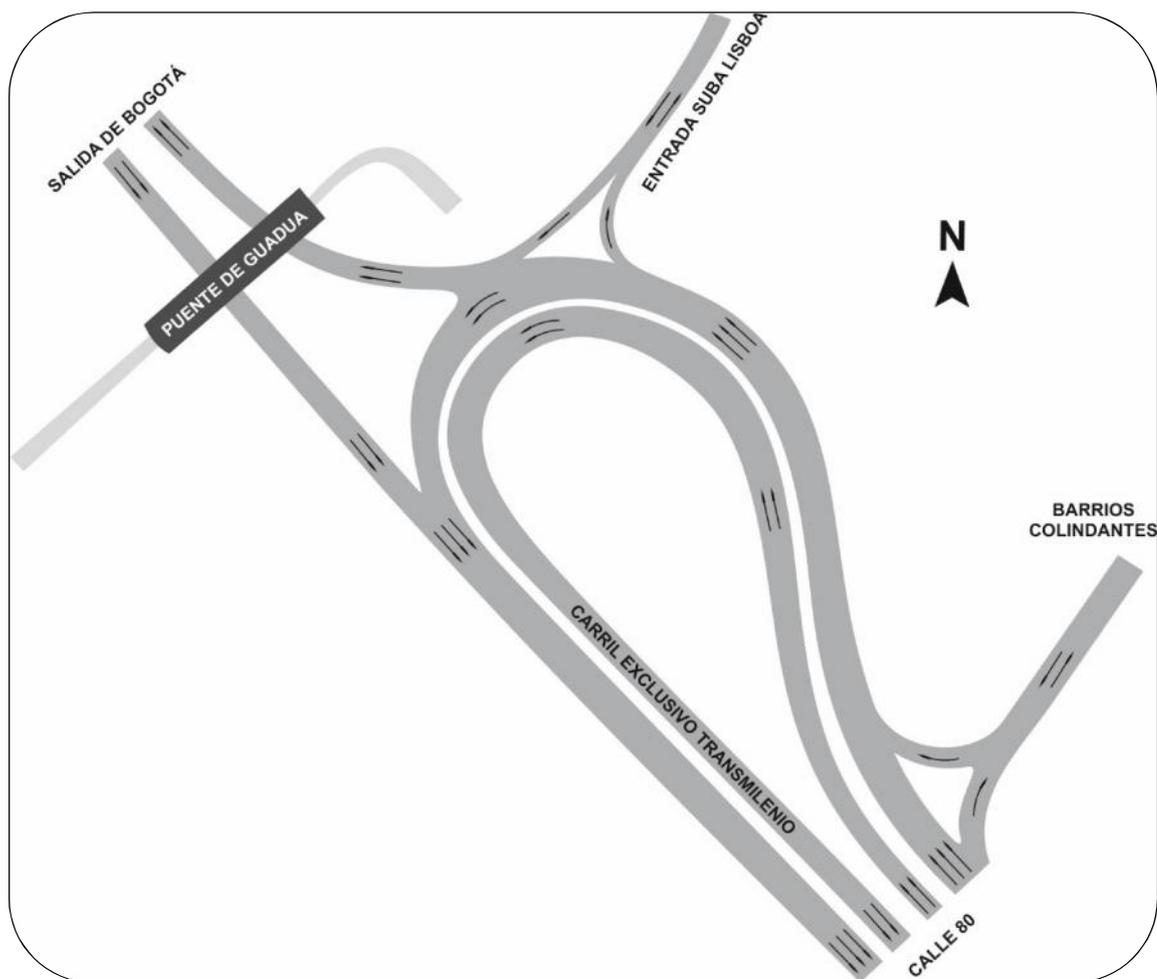


Ilustración 22 - Caracterización de carriles en el lugar de estudio. Fuente propia

Según la Ilustración 16, se observa que existe una calzada interna de dos (2) carriles exclusivos para el retorno de buses alimentadores del sistema Transmilenio y para buses del sistema integrado de transporte público - SITP que transitan por ahí, aunque en ese punto de la ciudad este carril exclusivo termina siendo mixto debido a que transitan vehículos particulares.



Ilustración 23. Cambio de configuración de carriles AC 80 por TV 121. Fuente propia

Como se puede observar en la ilustración 17, la calzada exterior consiste en tres (3) carriles de ida y tres (3) carriles de vuelta estrictamente en la calle 80. Después del cruce con la TV 121, la configuración de carril reduce a dos.



Ilustración 24. TV 121 Acceso a Suba por AC 80. Fuente propia

En lo que corresponde a Suba, la calzada se compone de dos (2) carriles, uno por cada sentido (ilustración 18), en donde los que salen de Suba a tomar la AC 80 tienen la opción de salir de Bogotá o de usar la AC 80 sentido WE.

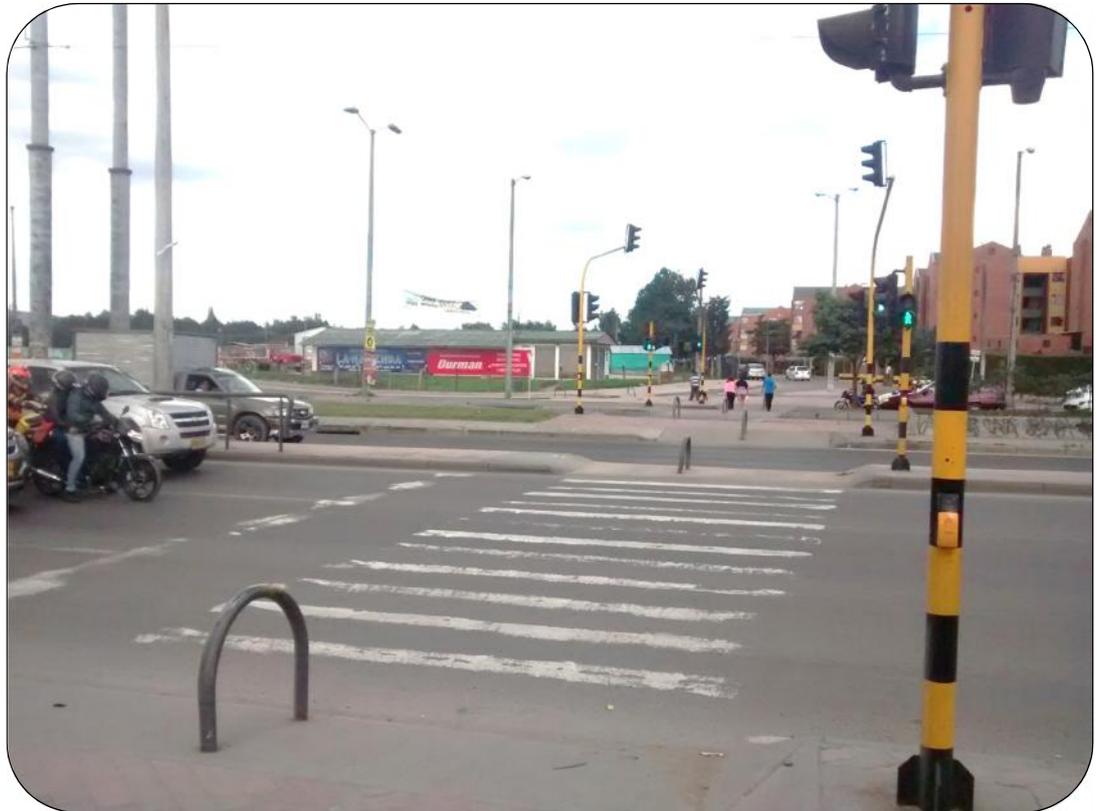


Ilustración 25. Cruce peatonal Semafórico KR 119. Fuente propia

Como se ilustra en la imagen A la altura de la KR 119 existe un cruce peatonal semafórico cuya función es habilitar el cruce peatonal de la AC 80 deteniendo los vehículos que transitan en este corredor vial. Este semáforo peatonal es accionado según la demanda de peatones por lo que no tiene tiempos fijos.

Por último la TV 119 es una vía de doble sentido, cada sentido con su respectivo carril el cual permite acceder a los barrios colindantes en este sector (Ciudadela Colsubsidio – Cortijo). O salir de ellos para tomar la AC 80

5.1.2. Configuración de movimientos

Luego de realizar diversas visitas al lugar de conflicto se procede a realizar una descripción de la intersección como se encuentra actualmente, encontrándose lo siguiente.

De acuerdo a la Ilustración 26, podemos observar que existen tres ramales y seis (6) movimientos en la intersección de estudio, explicados a continuación:

- *R-1*: ramal # 1, quienes van en sentido oriente-occidente y viceversa por la calle 80.
- *R-2*: ramal # 2, quienes salen o entran a la ciudad luego de cruzar por el puente de guadua.
- *R-3*: ramal # 3, quienes van o vienen de Suba Lisboa, hacia o fuera de la ciudad.
- *Movimiento 4*: son quienes usan la calle 80 para salir de la ciudad sentido oriente-occidente.
- *Movimiento 9(1)*: aquellos vehículos que provenientes de Suba Lisboa salen de la ciudad hacia el occidente o retornan al oriente.
- *Movimiento 9(4)*: vehículos que provienen de la calle 80 y realizan el giro hacia Suba Lisboa, sentido oriente - norte.
- *Movimiento 10(4)*: quienes vienen por la calle 80 y usan el retorno para ir a la ciudad en sentido occidente - oriente.
- *Movimiento 5*: vehículos que provienen de Suba Lisboa y retornan a la ciudad por la calle 80 hacia el oriente.
- *Movimiento 3*: son todos aquellos vehículos que ingresan a la ciudad en sentido occidente - oriente.

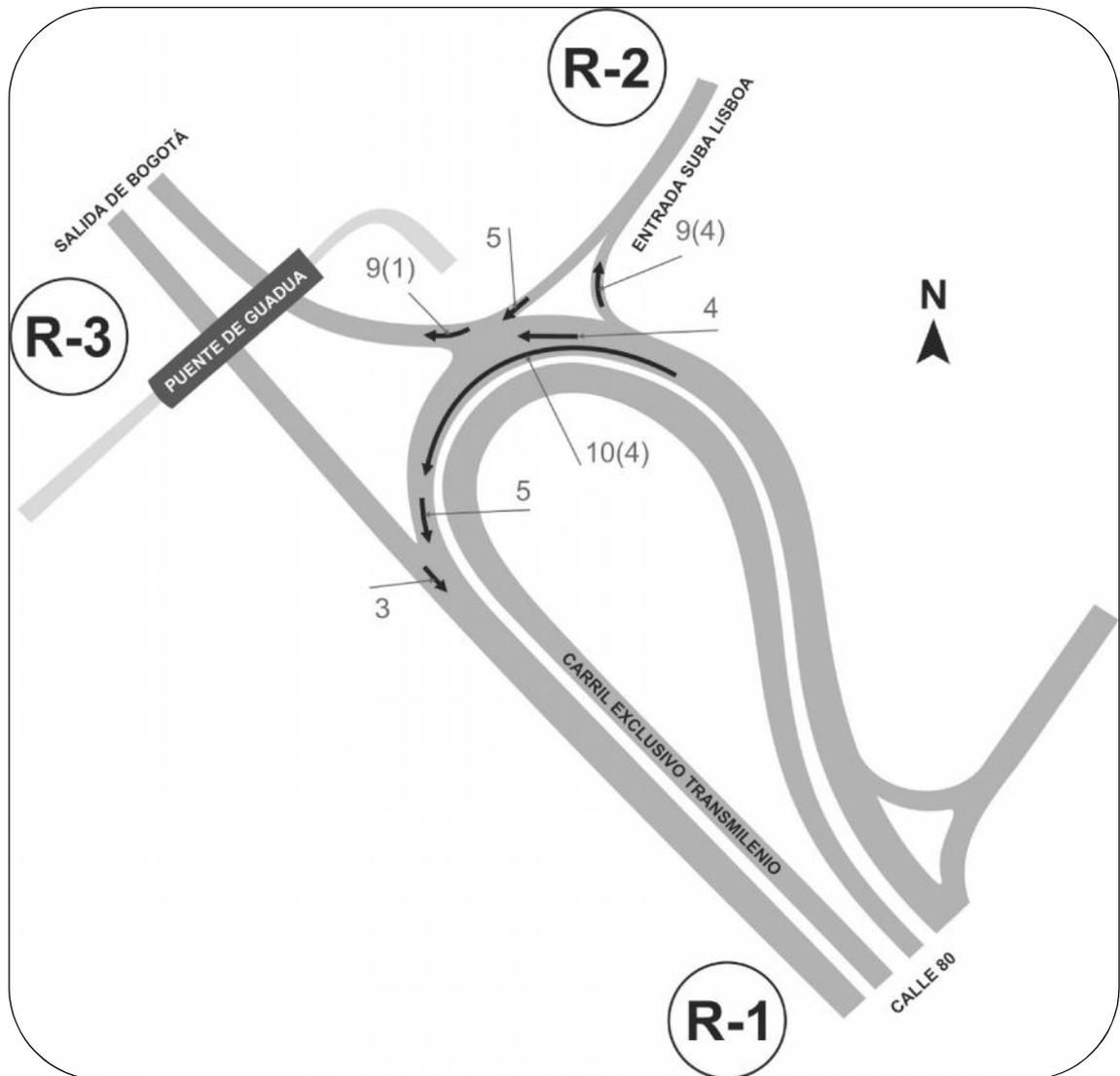


Ilustración 26 - Esquema de movimientos de la intersección en estudio. Fuente propia

De acuerdo a lo anterior podemos observar tres (3) ramales y seis (6) movimientos con sus respectivas codificaciones, donde según las inspecciones visuales los movimientos más conflictivos son el 4, 5 y 9(1), esto es por el cruce que existe entre los que vienen de Suba saliendo de la ciudad y los que pretenden ingresar a la calle 80 hacia el oriente y quienes pretenden salir de la ciudad por la calle 80.

El conflicto existente se observa los días de lunes a viernes especialmente en las horas pico las cuales tienen aproximadamente la siguiente configuración tomando los horarios que tiene decretados la administración para carros particulares.

Horario Pico y Placa para la ciudad de Bogotá.

- Por la mañana 6:00 am a 8:30 am
- Por la tarde 3:00 pm a 7:30 pm

De acuerdo a la configuración actual de la ciudad, en horas de la mañana el transporte es masivo hacia las partes centrales y norte de la ciudad, así como para las afueras de la misma, esto debido a que estos sectores es donde predominan las zonas industriales o de mayor fuente laboral; en horas de la tarde se presenta el fenómeno contrario, por ser el regreso de la gran mayoría de quienes se desplazaron hacia sus trabajos ahora regresan de nuevo a sus hogares.

Teniendo en cuenta lo anterior sería fácil encontrar puntos de conflicto y hallar soluciones. Sin embargo, el hecho que al mismo tiempo en un mismo punto se quiera entrar y salir de la ciudad hace que se convierta realmente en una intersección complicada y difícil de evaluar, para poder continuar con una descripción del lugar de conflicto, se hará mención a la configuración de cantidad de carriles por sentido en todo el sector.

En la ilustración 21 se puede identificar los diferentes puntos de conflicto que afectan a la movilidad vehicular. Puntos como ascenso y descenso no autorizado y cruces vehiculares no controlados son algunos de los conflictos que se pueden evidenciar actualmente en la intersección objeto de estudio.



Ilustración 27. Puntos de conflicto. Fuente propia

5.2. VOLÚMENES VEHICULARES Y CÁLCULO DE INFORMACIÓN

De acuerdo al *Manual de planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte* de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá, según el escenario de operación y el tipo de actividad a desarrollar, se deberá contemplar el comportamiento operativo de la demanda para un día típico de la semana (lunes a viernes), determinando el número de vehículos que entran y salen del proyecto. Así mismo se debe revisar la operación de los periodos de máxima demanda de un día atípico de la semana (sábado o domingo).

Para el diseño de intersecciones urbanas se deben tener en cuenta los flujos vehiculares de la hora pico de la mañana, la tarde y otras que se puedan tener durante el día. ²²

Con base en lo anterior, Se adelantó toma de información de volúmenes vehiculares en un día típico y otro en un día atípico de la semana en horas pico. Entiéndase como día típico aquel día de los siete días de la semana que presenta normalidad en su condición de tránsito. Se ha definido días típicos de martes a jueves. El día atípico es aquel que no presenta normalidad en su condición de tránsito. Para el estudio se contempló el día sábado ya que en este no existe un control de pico y placa a los vehículos.

A continuación se relaciona el aforo realizado para *ambas* condiciones

²² URIBE CELIS, S.L. "Manual de Diseño Geométrico para Vías e Intersecciones urbanas". Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, 2008.

Tabla 2. Volúmenes vehiculares día típico

VEHICULOS MIXTOS																									
PERIODO		INTERSECCION OBJETO DE ESTUDIO																							
		MOV 3				MOV 4				MOV 5				MOV 9(1)				MOV 9(4)				MOV 10(4)			
		A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M
5:30:00	5:45:00	123	48	83	71	318	37	43	157	36	17	4	44	26	8	8	40	9	8	1	6	12	3	0	6
5:45:00	6:00:00	157	67	60	90	290	38	49	160	39	23	10	56	47	1	9	61	4	1	2	12	7	3	0	4
6:00:00	6:15:00	189	54	64	130	375	58	63	138	11	3	0	46	26	2	9	44	7	1	1	11	7	6	0	3
6:15:00	6:30:00	216	64	72	196	410	81	58	119	4	6	2	69	5	0	3	49	2	4	1	9	8	2	0	0
6:30:00	6:45:00	204	71	71	211	339	103	68	279	22	5	5	75	6	2	3	108	2	3	2	15	6	4	0	1
6:45:00	7:00:00	192	78	71	227	309	100	75	439	40	4	9	148	8	4	4	102	2	6	4	21	5	6	0	2
7:00:00	7:15:00	205	79	70	221	310	126	78	386	27	3	5	123	15	3	1	61	5	10	10	23	10	11	0	9
7:15:00	7:30:00	140	50	56	154	353	124	66	344	28	3	6	89	5	3	2	52	4	9	2	12	6	8	2	6
15:00:00	15:15:00	22	263	30	45	35	8	5	11	5	1	3	3	4	20	5	2	9	119	23	27	40	26	7	8
15:15:00	15:30:00	1	332	3	56	73	1	2	7	4	7	12	14	7	23	1	10	12	153	33	16	60	41	21	10
15:30:00	15:45:00	4	465	4	49	38	17	1	4	17	62	11	0	53	16	4	11	57	86	3	32	33	48	4	1
15:45:00	16:00:00	4	283	0	28	66	12	16	2	0	35	5	6	15	21	8	13	40	263	35	52	83	31	9	4
16:00:00	16:15:00	5	320	0	27	106	6	3	7	5	19	2	3	6	41	12	16	46	265	23	19	66	19	7	0
16:15:00	16:30:00	15	386	2	34	46	6	7	8	8	3	1	15	10	30	11	9	15	142	2	9	19	5	21	8

En la tabla 2. Se registra el número y tipo de vehículo que transita por la intersección crítica (AC 80 por TV 121). Estos aforos se realizaron en las horas pico del día martes por periodos de 15 minutos.

Tabla 3. Volúmenes vehiculares día atípico

VEHICULOS MIXTOS																									
PERIODO		INTERSECCION 2																							
		MOV 3				MOV 4				MOV 5				MOV 9(1)				MOV 9(4)				MOV 10(4)			
		A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M
7:00:00	7:15:00	148	47	90	166	364	47	72	222	43	6	2	86	30	0	4	53	13	11	0	29	15	8	4	4
7:15:00	7:30:00	163	41	94	128	387	41	73	205	32	12	3	97	27	0	14	20	13	5	1	32	7	8	0	1
7:30:00	7:45:00	167	43	106	114	324	30	67	127	29	6	5	57	22	0	4	36	9	7	4	10	7	5	2	0
7:45:00	8:00:00	175	44	84	121	313	49	88	106	29	8	5	75	37	7	7	54	10	4	1	13	7	6	1	13
8:00:00	8:15:00	153	40	85	93	483	47	70	135	43	10	2	37	29	0	3	11	15	11	0	26	15	6	4	7
8:15:00	8:30:00	270	41	89	79	494	41	90	75	38	12	5	41	29	0	12	12	13	8	2	18	7	8	0	4
8:30:00	8:45:00	168	39	84	68	498	31	69	102	28	6	8	41	17	1	4	8	15	7	8	9	16	5	2	0
8:45:00	9:00:00	355	30	86	119	479	34	100	90	32	8	6	64	35	3	7	32	13	6	1	10	12	6	3	13
9:00:00	9:15:00	265	35	73	52	507	45	66	93	32	10	4	21	28	1	3	6	15	10	2	3	20	6	0	7
9:15:00	9:30:00	299	31	75	64	522	41	103	65	38	10	5	19	30	0	5	10	30	10	7	4	6	7	0	4
9:30:00	9:45:00	252	34	78	54	539	34	118	78	28	8	11	24	15	2	8	8	27	6	11	9	17	6	2	1
9:45:00	10:00:00	393	23	89	88	519	29	101	53	33	8	6	20	19	1	2	4	19	7	7	3	25	8	3	3
14:30:00	14:45:00	145	34	36	51	272	24	60	60	34	5	9	26	20	0	1	9	33	6	4	17	8	7	1	4
14:45:00	15:00:00	182	43	46	64	340	30	75	76	35	9	4	12	25	0	2	12	45	12	4	19	13	12	2	2
15:00:00	15:15:00	112	22	28	29	483	17	71	48	33	6	7	20	62	7	7	66	54	7	9	60	18	7	1	5
15:15:00	15:30:00	283	49	80	86	295	23	46	76	26	7	7	23	30	0	8	22	38	5	7	52	20	8	6	9
15:30:00	15:45:00	300	38	48	78	321	25	29	110	37	7	4	12	21	1	2	10	31	11	10	48	0	3	8	7
15:45:00	16:00:00	145	22	22	38	390	21	51	71	17	11	3	5	15	0	1	14	47	6	2	32	5	7	1	1

En la tabla 3. Se registra el número y tipo de vehículos que transitan por la intersección crítica (AC 80 por TV 121). Estos aforos se realizaron por periodos de 15 minutos en la franja de la mañana y tarde del día sábado.

Estos volúmenes reales deberán representarse en vehículos equivalentes, es decir, el número de vehículos livianos que ocupa otro tipo de vehículo diferente a este (ver tabla 4). Por ejemplo, el espacio ocupado por un vehículo tipo camión corresponde al espacio ocupado por dos vehículos livianos. A continuación se relaciona en las tablas 5 y 6 los vehículos equivalentes tanto para el día típico como atípico respectivamente

Tabla 4. Tabla equivalencia en vehículos livianos

EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIVIANOS		
AUTO	A	1
BUS	B	2
CAMION	C	2,5
MOTO	M	0,5

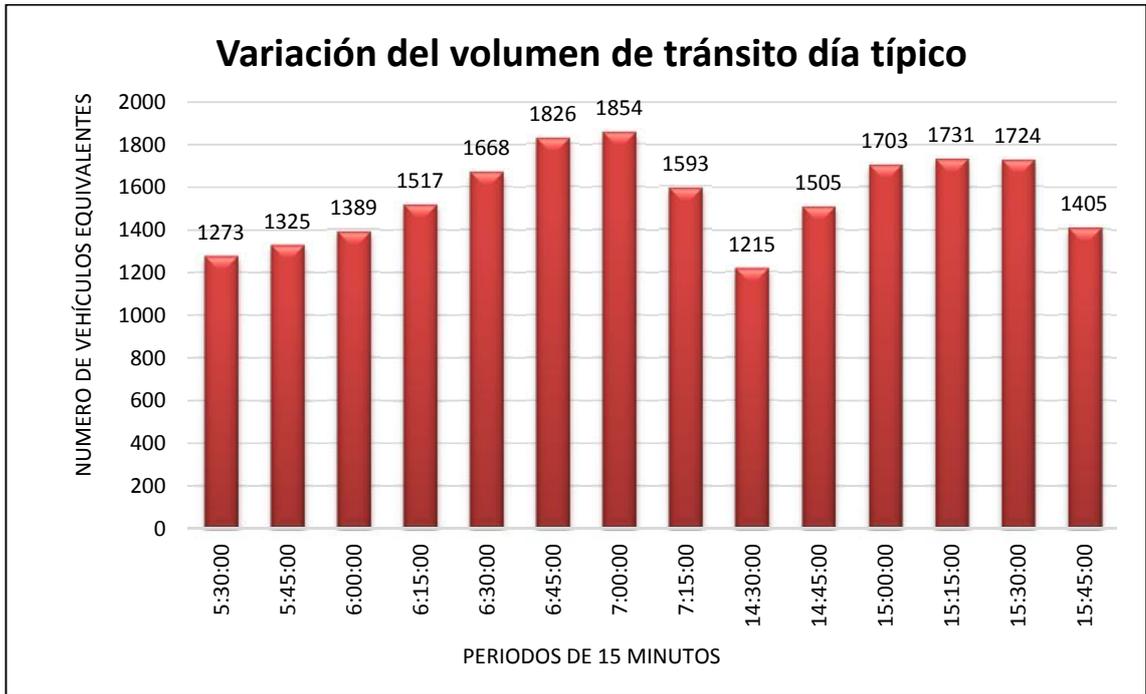
Tabla 5. Vehículos livianos equivalentes día Típico

VEHICULOS EQUIVALENTES DIA TIPICO							
HORA		VEHICULOS EQUIVALENTES					
		MOV 3	MOV 4	MOV 5	MOV 9(1)	MOV 9(4)	MOV 10(4)
5:30:00	5:45:00	461	577	102	82	30	21
5:45:00	6:00:00	486	568	138	101	17	15
6:00:00	6:15:00	522	717	40	74	16	20
6:15:00	6:30:00	622	776	55	36	16	12
6:30:00	6:45:00	628	854	81	71	20	14
6:45:00	7:00:00	638	915	144	77	34	18
7:00:00	7:15:00	648	950	106	53	61	36
7:15:00	7:30:00	457	938	93	42	33	30
14:30:00	14:45:00	645	68	15	57	317	113
14:45:00	15:00:00	700	83	55	60	408	199
15:00:00	15:15:00	968	76	168	100	252	139
15:15:00	15:30:00	584	131	85	83	679	169
15:30:00	15:45:00	658	128	49	126	642	121
15:45:00	16:00:00	809	79	23	101	308	85

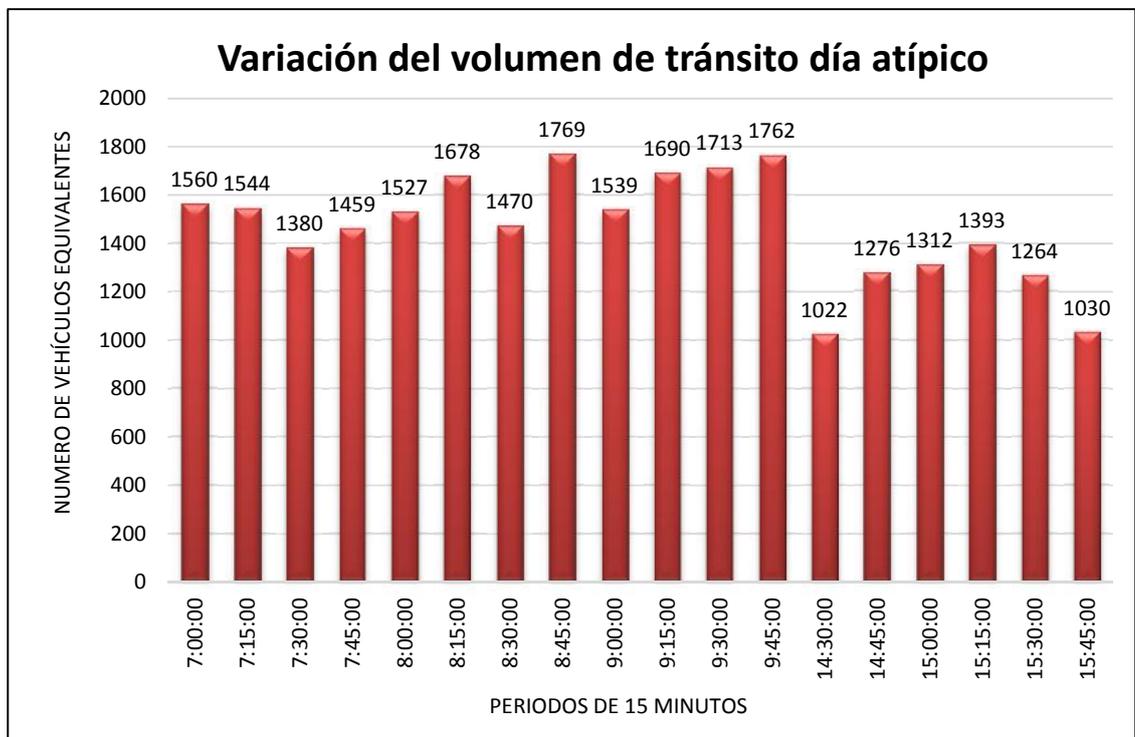
Tabla 6. Vehículos livianos equivalentes día atípico

VEHICULOS EQUIVALENTES							
HORA		VEHICULOS EQUIVALENTES					
		MOV 3	MOV 4	MOV 5	MOV 9(1)	MOV 9(4)	MOV 10(4)
7:00:00	7:15:00	550	749	103	66	49	43
7:15:00	7:30:00	544	753	111	72	41	23
7:30:00	7:45:00	575	614	81	50	38	22
7:45:00	8:00:00	533	684	94	95	26	27
8:00:00	8:15:00	491	819	86	41	50	40
8:15:00	8:30:00	613	838	94	65	43	25
8:30:00	8:45:00	490	783	80	33	53	31
8:45:00	9:00:00	689	842	95	74	32	37
9:00:00	9:15:00	543	808	72	40	41	35
9:15:00	9:30:00	580	893	79	47	69	22
9:30:00	9:45:00	542	941	83	43	70	34
9:45:00	10:00:00	705	855	74	28	51	49
14:30:00	14:45:00	328	500	79	26	63	26
14:45:00	15:00:00	415	625	69	36	88	43
15:00:00	15:15:00	240	718	72	126	120	36
15:15:00	15:30:00	624	494	68	61	91	55
15:30:00	15:45:00	535	498	67	33	102	29
15:45:00	16:00:00	263	594	48	24	80	21

Con base en los registros anteriormente obtenidos se compararon los volúmenes de ambos días (típico y atípico) para poder determinar de allí el día crítico. Según los resultados, el día que presentó mayor volumen vehicular por periodos de 15 minutos fue el día típico, presentando un volumen máximo de vehículos equivalentes de 1854 en el periodo de 7:00am como lo muestra la gráfica 1 mostrada a continuación.



Gráfica 1 – Variación del volumen de tránsito día típico



Gráfica 2 – Variación del volumen de tránsito día atípico

5.2.1. Hora de máxima demanda

Se define la hora de máxima demanda como aquel periodo donde transita la mayor cantidad de vehículos en un periodo de tiempo de una hora (60 minutos). Esta hora se obtiene sumando consecutivamente el total de los vehículos en periodos de 15 minutos hasta completar una hora. El valor máximo obtenido será la hora de máxima demanda.

Tabla 7. Volumen Horario

VEHICULOS EQUIVALENTES DIA TIPICO									
HORA		VEHICULOS EQUIVALENTES						TOTAL	Vol. Horario
		MOV 3	MOV 4	MOV 5	MOV 9(1)	MOV 9(4)	MOV 10(4)		
5:30:00	5:45:00	461	577	102	82	30	21	1273	
5:45:00	6:00:00	486	568	138	101	17	15	1325	
6:00:00	6:15:00	522	717	40	74	16	20	1389	
6:15:00	6:30:00	622	776	55	36	16	12	1517	5504
6:30:00	6:45:00	628	854	81	71	20	14	1668	5899
6:45:00	7:00:00	638	915	144	77	34	18	1826	6400
7:00:00	7:15:00	648	950	106	53	61	36	1854	6865
7:15:00	7:30:00	457	938	93	42	33	30	1593	6941
14:30:00	14:45:00	645	68	15	57	317	113	1215	
14:45:00	15:00:00	700	83	55	60	408	199	1505	
15:00:00	15:15:00	968	76	168	100	252	139	1703	
15:15:00	15:30:00	584	131	85	83	679	169	1731	6154
15:30:00	15:45:00	658	128	49	126	642	121	1724	6663
15:45:00	16:00:00	809	79	23	101	308	85	1405	6563

Como se visualiza en la tabla 7, la hora que presentó el mayor número de vehículos equivalentes está comprendida desde las 6:30am hasta las 7:30am con un total de 6941 vehículos. Con base en este se procede a calcular el FHMD (Factor de hora de máxima demanda o Factor de Hora Pico).

5.2.2. Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda

Una vez identificada la hora de máxima demanda, se requiere determinar el porcentaje de vehículos que transitan en la intersección ya que al momento de realizar la modelación en el software se requiere identificar el tipo de vehículo que transita allí y su respectivo porcentaje respecto al total de vehículos. En las tablas 8 y 9 se encuentran el total y el tipo de vehículos reales que transitan allí.

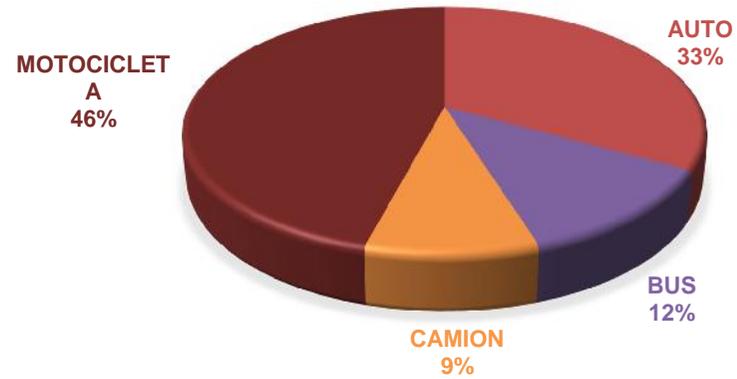
Tabla 8. Volúmenes mixtos en la HMD

HORA		PORCENTAJE VEHICULOS EN HORA DE MAXIMA DEMANDA																							
		INTERSECCION 2																							
		MOV 3				MOV 4				MOV 5				MOV 9(1)				MOV 9(4)				MOV 10(4)			
A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M		
6:30:00	6:45:00	204	71	71	211	339	103	68	279	22	5	5	75	6	2	3	108	2	3	2	15	6	4	0	1
6:45:00	7:00:00	192	78	71	227	309	100	75	439	40	4	9	148	8	4	4	102	2	6	4	21	5	6	0	2
7:00:00	7:15:00	205	79	70	221	310	126	78	386	27	3	5	123	15	3	1	61	5	10	10	23	10	11	0	9
7:15:00	7:30:00	140	50	56	154	353	124	66	344	28	3	6	89	5	3	2	52	4	9	2	12	6	8	2	6

Tabla 9. Total de vehículos por tipo en la HMD

TOTAL			
AUTO	BUS	CAMION	MOTOCICLETA
579	188	149	689
556	198	163	939
572	232	164	823
536	197	134	657
2243	815	610	3108
33%	12%	9%	46%

TIPO DE VEHICULOS HORA DE MAXIMA DEMANDA



Gráfica 3 - Porcentaje de vehículos en la HMD

Tabla 10. Vehículos equivalentes en el día típico

VEHICULOS EQUIVALENTES DIA TIPICO								
HORA		VEHICULOS EQUIVALENTES						TOTAL
		MOV 3	MOV 4	MOV 5	MOV 9(1)	MOV 9(4)	MOV 10(4)	
6:30:00	6:45:00	628	854	81	71	20	14	1668
6:45:00	7:00:00	638	915	144	77	34	18	1826
7:00:00	7:15:00	648	950	106	53	61	36	1854
7:15:00	7:30:00	457	938	93	42	33	30	1593
TOTAL		2371	3657	424	243	148	98	

5.2.3. Factor de la hora de máxima demanda

Es la relación entre el Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD) y el Volumen Máximo (Qmax) que se representa durante un periodo dado durante dicha hora. Matemáticamente se expresa como se indica a continuación

$$F_h = \frac{V_h}{(4 * Q_m)}$$

Con base en lo anterior, el FHMD obtenido para la intersección objeto de estudio es:

$$F_h = \frac{6941 \text{ v h/c}}{(4 * 1854 \text{ v h/c})}$$

$$F_h = 0,9$$

5.3. CAPACIDADES Y NIVELES DE SERVICIO

Un segmento de una vía puede ser caracterizado mediante tres condiciones de eficiencia: la densidad (vehículos livianos/km/carril), velocidad media de los vehículos livianos y la relación volumen a capacidad (v/c). Estos factores indican de cómo un flujo vehicular es acomodado por la vía.

De acuerdo al alcance de la investigación y según los objetivos, se determinará el nivel de servicio en tres tramos diferentes, esto es debido a que la configuración y geometría de la vía es diferente, además de los volúmenes existentes, estos factores cambian, por ende el nivel de servicio cambiará en cada tramo.

Es necesario encontrar primero la tasa de flujo y luego encontrar la velocidad espacial; con estos dos datos podemos ingresar a la Ilustración 22 para encontrar el nivel de servicio.

Tasa de flujo:

$$V = \frac{V}{(F_l)(N)(f_H)(f_p)}$$

- V = Tasa de flujo equivalente en 15 minutos (vehículos livianos/h/carril)
 V = Volumen Horario por sentido (vehículos mixtos/h)
 F_l = Factor de la hora de máxima demanda
 N = Número de carriles por sentido
 f_H = Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados
 f_p = Factor de ajuste por tipo de conductores

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

- f_H = Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.
 P_T = Porcentaje de camiones en la corriente vehicular.
 P_B = Porcentaje de autobuses en la corriente vehicular.
 P_R = Porcentaje de vehículos recreativos en la corriente vehicular.
 E_T = Automóviles equivalentes a un camión.
 E_B = Automóviles equivalentes a un autobús.
 E_R = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo.

5.3.1. Determinación del nivel de servicio

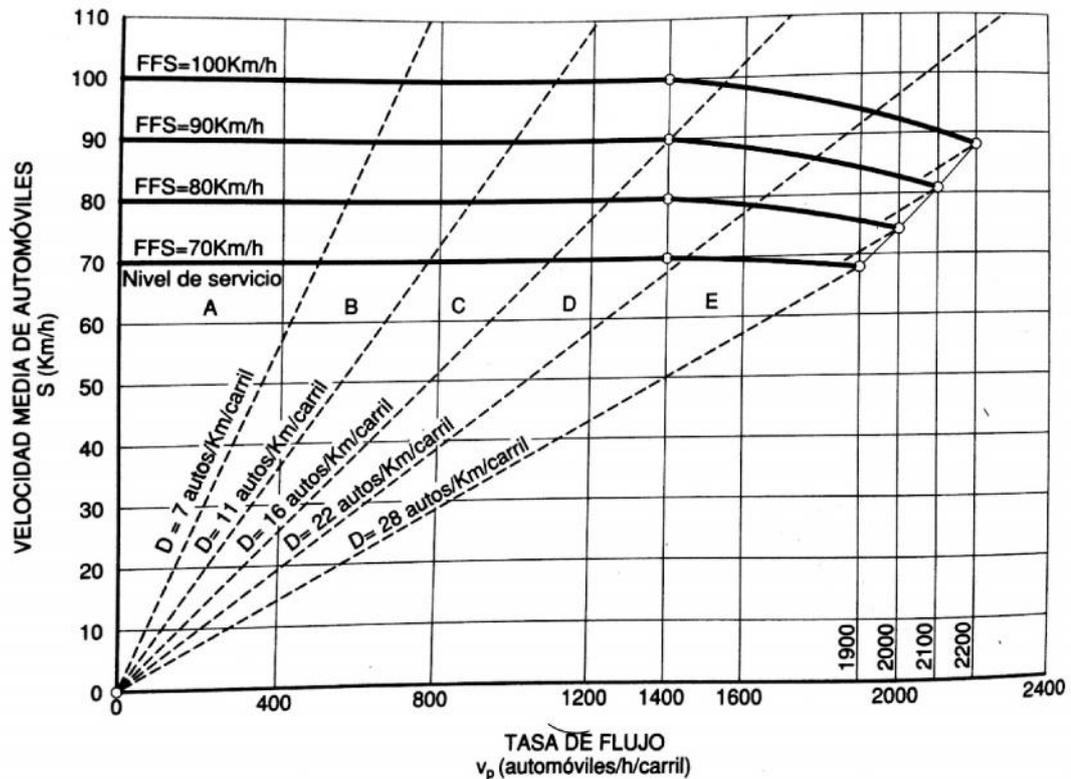


Ilustración 28 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio en segmentos básicos de autopistas
(Fuente: TBR. Highway Capacity Manual. HCM 2000)

Tramo Avenida Calle 80 sentido oriente - occidente

- Tres Carriles por sentido con ancho de 3,20m cada carril.
- Volumen máximo de demanda de 3657 vehículos mixtos/h en el sentido ascendente, distribuidos como sigue: 36% vehículos livianos, 24% buses, y 20% camiones.
- FHMD: 0,935

Tasa de flujo

$$f_H = \frac{100}{100 + 20(1.5 - 1) + 24(2.0 - 1)}$$

$$f_H = 0,7$$

$$V = \frac{3657}{(0,935)(3)(0,746)(1.0)}$$

$$V = 1 \quad v \quad li \quad /h \quad /c$$

Velocidad espacial

La siguiente tabla muestra de acuerdo a los datos obtenidos en campo las velocidades reales de la muestra representativa de los vehículos que transitan por una longitud determinada en la hora de máxima demanda:

Tabla 11. Velocidades espaciales obtenidas AC 80 sentido oriente-occidente

TIPO	TIEMPO (seg)	LONGITUD	TIEMPO (Hora)	VELOCIDAD (Km/h)
VEHICULO 1	55,00	0,185	0,015	12,11
VEHICULO 2	40,00	0,185	0,011	16,65
VEHICULO 3	43,00	0,185	0,012	15,49
VEHICULO 4	56,00	0,185	0,016	11,89
VEHICULO 5	67,00	0,185	0,019	9,94
VEHICULO 6	40,00	0,185	0,011	16,65
VEHICULO 7	35,00	0,185	0,010	19,03
VEHICULO 8	47,00	0,185	0,013	14,17
VEHICULO 9	59,00	0,185	0,016	11,29
VEHICULO 10	65,00	0,185	0,018	10,25
VEHICULO 11	66,00	0,185	0,018	10,09
				13,41

Por lo anterior, la velocidad espacial es de 13,41 Km/h

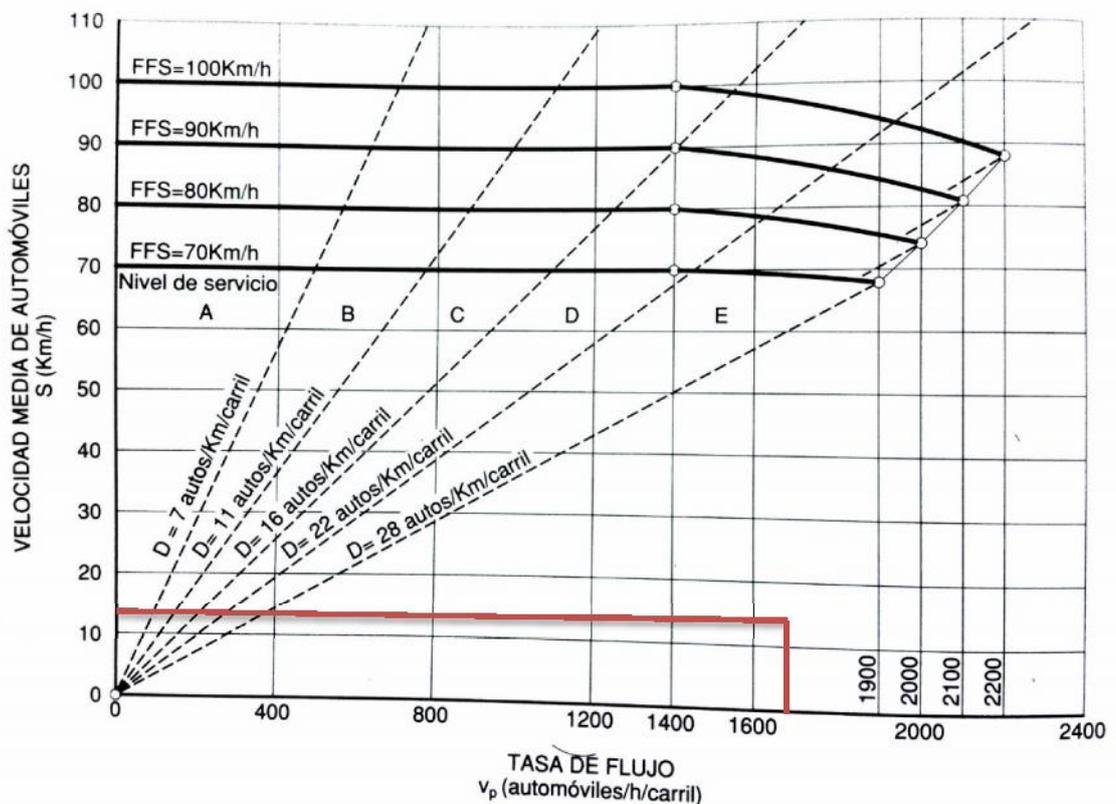


Ilustración 29 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio TRAMO AC 80 SENTIDO ORIENTE - OCCIDENTE

Como se puede observar en la Ilustración 23, el nivel de servicio que funciona en el movimiento 4 (calle 80) es de **NIVEL F**, el cual representa, según Cal y Mayor, condiciones de flujo forzado.

Tramo Avenida Calle 80 Sentido Occidente - Oriente

- Tres Carriles por sentido con ancho de 3.50m cada carril.
- Volumen máximo de demanda de 2371 vehículos mixtos/h en el sentido ascendente, distribuidos como sigue: 20% vehículos livianos, 15% buses, y 18% camiones.
- FHMD: 0,935

Tasa de flujo

$$f_H = \frac{100}{100 + 18(1.5 - 1) + 15(2.0 - 1)}$$

$$f_H = 0,8$$

$$V = \frac{2371}{(0,935)(3)(0,806)(1.0)}$$

$$V = 1 \quad v \quad li \quad /h \quad /c$$

Velocidad espacial

Tabla 12. Velocidades espaciales obtenidas AC 80 sentido occidente-oriente

TIPO	TIEMPO (seg)	LONGITUD	TIEMPO (Hora)	VELOCIDAD (Km/h)
VEHICULO 1	13,00	0,10	0,004	27,69
VEHICULO 2	15,00	0,10	0,004	24,00
VEHICULO 3	10,00	0,10	0,003	36,00
VEHICULO 4	14,00	0,10	0,004	25,71
VEHICULO 5	15,00	0,10	0,004	24,00
VEHICULO 6	15,00	0,10	0,004	24,00
VEHICULO 7	17,00	0,10	0,005	21,18
VEHICULO 8	13,00	0,10	0,004	27,69
VEHICULO 9	19,00	0,10	0,005	18,95
VEHICULO 10	15,00	0,10	0,004	24,00
VEHICULO 11	16,00	0,10	0,004	22,50
				25,07

Por lo anterior, la velocidad espacial es de 25,07 Km/h

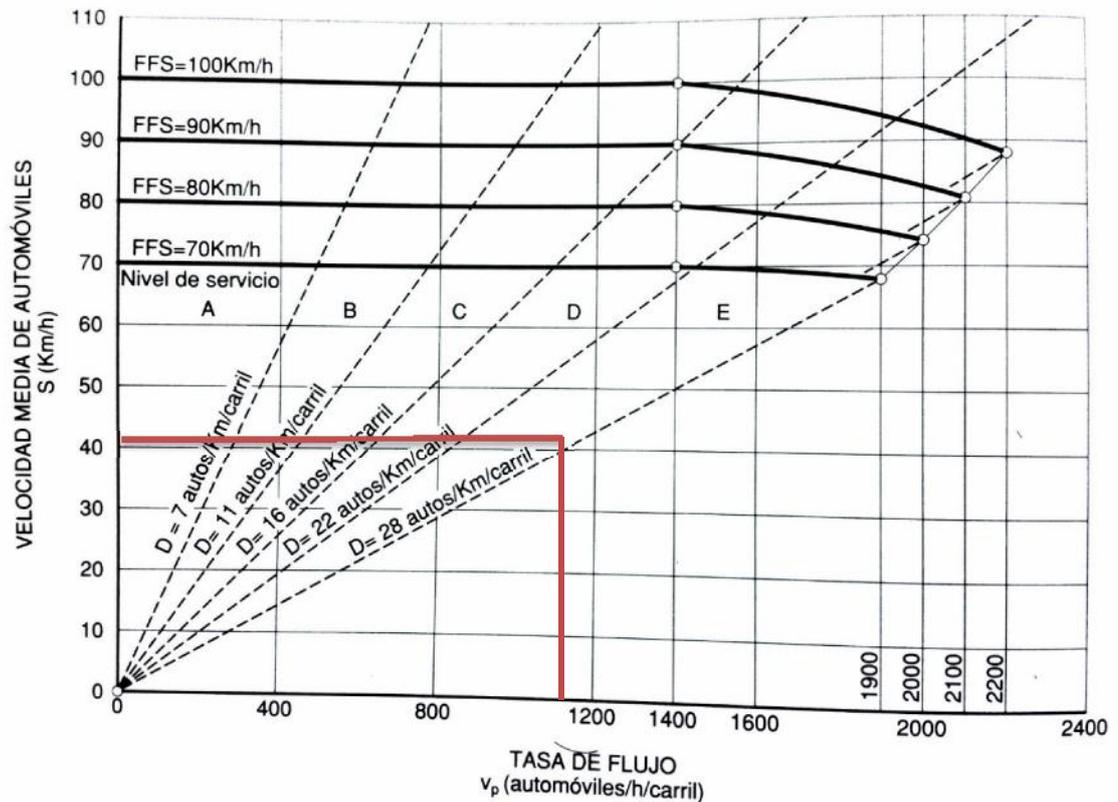


Ilustración 30 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio AC 80 SENTIDO OCCIDENTE – ORIENTE

Como se puede observar en la Ilustración 24, el nivel de servicio que funciona en el movimiento 3, (calle 80) es de **nivel D**, el cual representa, según Cal y Mayor, condiciones de densidad elevada aunque estable.

Tramo Transversal 121 acceso a Avenida Calle 80

- Un carril por sentido con ancho de 3.50m cada carril.
- Volumen máximo de demanda de 592 vehículos mixtos/h en el sentido ascendente, distribuidos como sigue: 27% vehículos livianos, 3% buses, y 4% camiones.
- FHMD: 0,935

Tasa de flujo

$$f_H = \frac{100}{100 + 3(1.5 - 1) + 4(2.0 - 1)}$$

$$f_H = 0,9$$

$$V = \frac{3697}{(0,96)(3)(0,947)(1,0)}$$

$$V = 6 \text{ v li /h /c}$$

Velocidad espacial

Tabla 13. Velocidades espaciales obtenidas TV 121 a AC 80

TIPO	TIEMPO (seg)	LONGITUD	TIEMPO (Hora)	VELOCIDAD (Km/h)
VEHICULO 1	8,00	0,07	0,002	31,50
VEHICULO 2	10,00	0,07	0,003	25,20
VEHICULO 3	12,00	0,07	0,003	21,00
VEHICULO 4	7,00	0,07	0,002	36,00
VEHICULO 5	8,00	0,07	0,002	31,50
VEHICULO 6	9,00	0,07	0,003	28,00
VEHICULO 7	7,00	0,07	0,002	36,00
VEHICULO 8	10,00	0,07	0,003	25,20
VEHICULO 9	12,00	0,07	0,003	21,00
VEHICULO 10	8,00	0,07	0,002	31,50
VEHICULO 11	10,00	0,07	0,003	25,20
				28,37

Por lo anterior, la velocidad espacial es de 28,37 Km/h

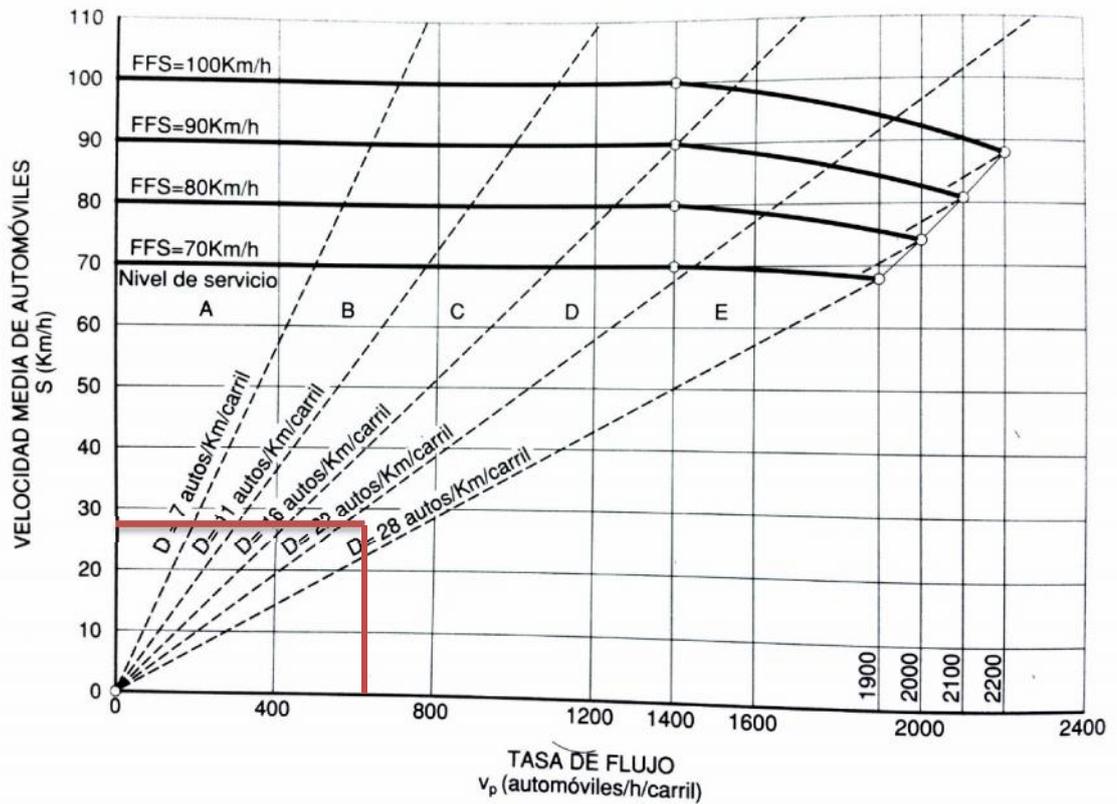


Ilustración 31 - Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio TV 121 acceso a AC 80

Como se puede observar en la Ilustración 25, el nivel de servicio que funciona en el movimiento 5 (TV 121 acceso a AC 80) es **nivel E**, el cual representa, según Cal y Mayor, condiciones inestables por pequeños aumentos del flujo produciendo colapsos.

5.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN MEDIANTE MODELACIÓN

El software utilizado fue *Synchro* el cual es un programa de computación con aplicación en la planificación, diseño, control y optimización de tiempos de semáforos en intersecciones y arterias viales, apto para el proyecto.

Con base en la información obtenida de los aforos y análisis vehiculares realizados en la intersección objeto de estudio, se procede a simular mediante el Software *Synchro*, las condiciones reales de la intersección para identificar puntos críticos y plantear así alternativas y diseños geométricos que mejoren las condiciones existentes.

5.4.1. Simulación de la condición actual

Ingresando los datos en el software se evidencia el represamiento vehicular ocasionado por el cruce de los flujos vehiculares de la AC 80 hacia el occidente con el flujo vehicular de la TV 121. Esto a su vez genera colas de vehículos en todas las vías arteriales que interceptan con la AC 80, tal como se muestra en la ilustración No. 26 donde la calzada de la KR 119 presenta represamientos, similares a los encontrados en sitio.



Ilustración 32 –Condición actual de la vía, Fuente propia



Ilustración 33 - Simulación condición actual en Synchro. Fuente propia



Ilustración 34 – Modelación 3D de la condición actual. Fuente propia

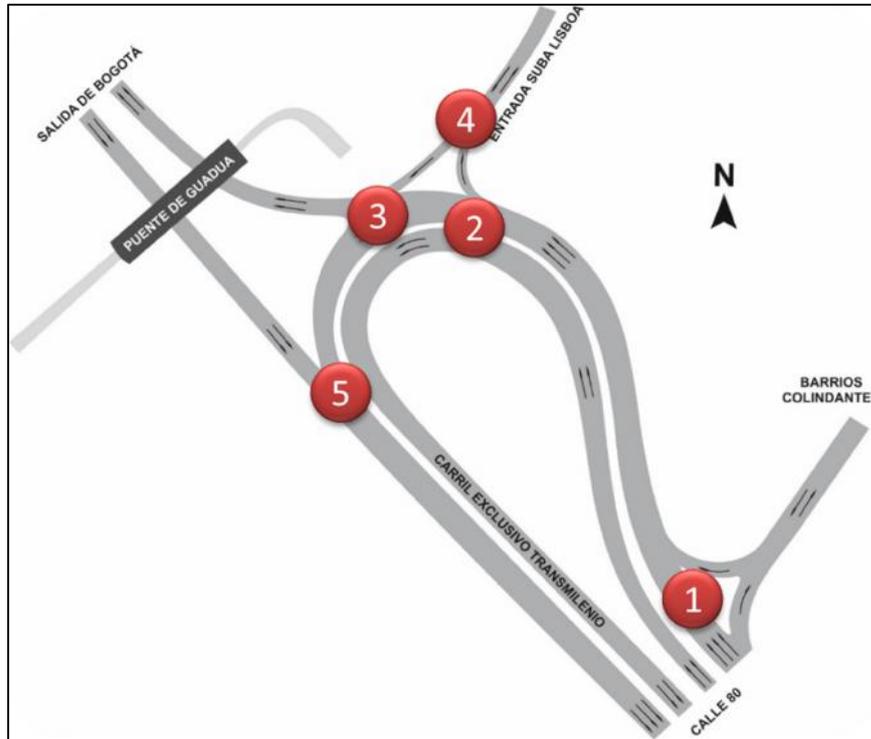


Ilustración 35, identificación de los puntos conflicto mediante Synchro, fuente propia

De acuerdo a la modelación de la condición actual el tramo que presentó el nivel de servicio más crítico es el tramo de la AC 80 sentido oriente-occidente (punto 3) con un nivel de servicio H que, según HCM 2000, es el nivel de servicio más crítico.

Tabla 14. Capacidades en puntos de conflicto condición actual

CONDICION ACTUAL	
INTERSECCION	ICU
1	120,50%
2	77,80%
3	176,20%
4	44,60%
5	185,30%

5.4.2. Alternativa 1. Intersección semaforizada

Se modela la intersección semaforizada de manera que no exista conflicto entre ningún flujo. Cabe resaltar que esta alternativa nace a raíz de las labores de control que realiza la policía de tránsito allí para el tráfico vehicular diario y se quiso evaluar esta opción.

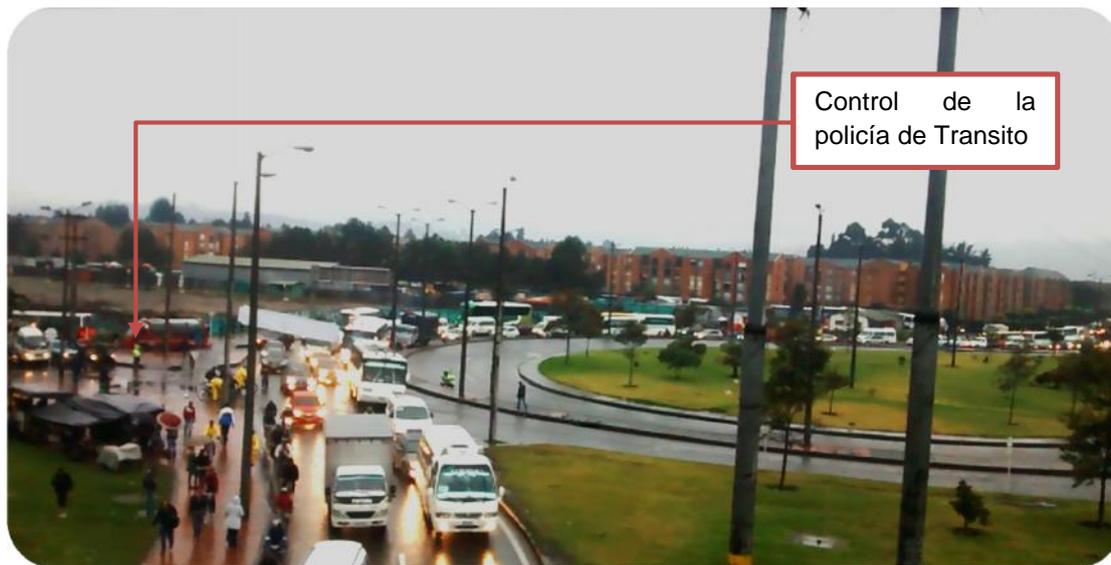


Ilustración 36 – Control por entidades de tránsito. Fuente propia

Para brindar comodidad para las dos intersecciones, el ciclo semafórico se proyecta no mayor a 2 minutos para cada sentido, garantizando con ello la evacuación de los vehículos que se encuentren a no más de 180m del semáforo. No obstante se observa que el represamiento vehicular continúa y esta alternativa aunque visualmente genera mejoras en tiempos de verde no es viable por no ser significativo el cambio. En la ilustración 30 y 31 se puede observar la simulación mediante el software y corroborar el cambio.

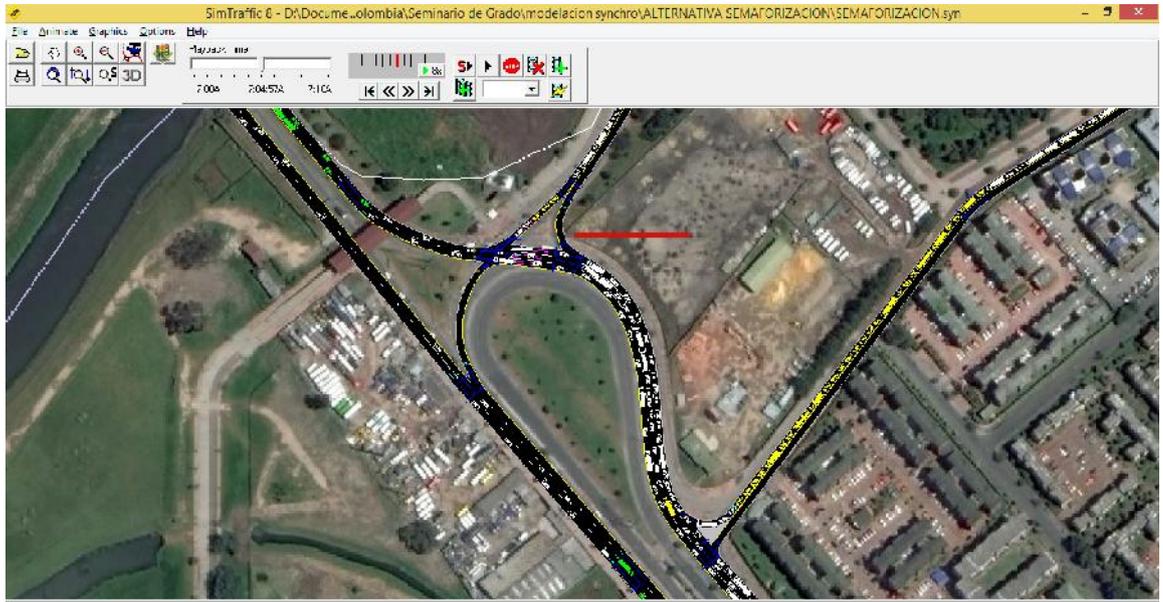


Ilustración 37 – Modelación de la semaforización vista en planta, fuente propia



Ilustración 38 – Modelación de la semaforización en perspectiva. Fuente propia

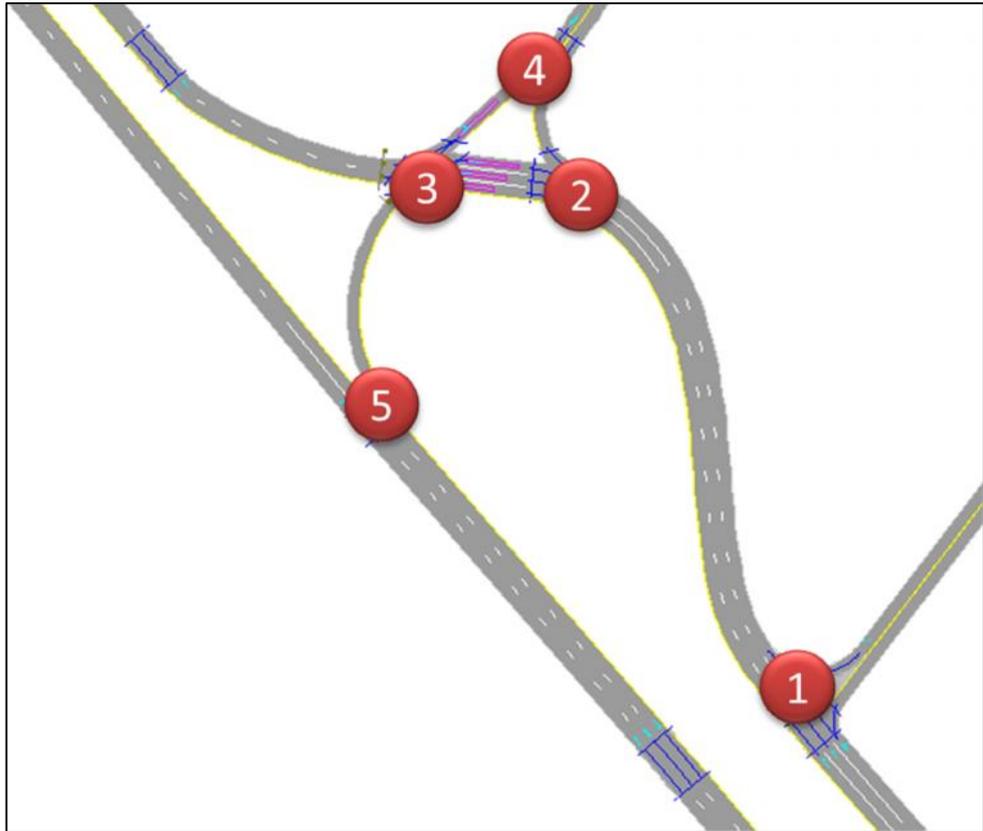


Ilustración 39- identificación de los puntos conflicto con semáforo mediante Synchro, fuente propia

De acuerdo a la modelación de la semaforización el tramo que presentó el nivel de servicio más crítico es el tramo de la AC 80 sentido oriente-occidente (punto 3) con un nivel de servicio H que, según HCM 2000, es el nivel de servicio más crítico. Ver anexo 1

Tabla 15. Capacidades en puntos de conflicto alternativa semaforización

SEMAFORIZACION	
INTERSECCION	ICU
1	120,50%
2	79,20%
3	177,30%
4	38,40%
5	185,30%

5.4.3. Alternativa 2. Diseño de glorieta

Consiste en construir una glorieta en la intersección actual permitiendo el flujo de los vehículos que provienen por la TV 121 a tomar la AC 80 sentido occidente-orientado, y los vehículos que realizan el retorno por la AC 80 sentido oriente-occidente. Adicional a esto, este diseño proporciona condiciones nuevas en la intersección, permitirá que los vehículos que provengan fuera de Bogotá puedan usar la glorieta para ingresar a Suba por la TV 121.



Ilustración 40 - Modelación de glorieta aérea. Fuente propia



Ilustración 41. Identificación de los puntos conflicto con la glorieta mediante Synchro, fuente propia

En esta alternativa garantiza el flujo continuo de los vehículos que transitan la AC 80 para salir de la ciudad, eliminando la conexión directa con los demás accesos a la intersección. No obstante La capacidad de una glorieta es más bajo, además que se pierde jerarquía vial y prioridad en todos los tramos. Ver anexo 2

Tabla 16. Capacidades en puntos de conflicto alternativa con glorieta

GLORIETA	
INTERSECCION	ICU
1	104,60%
2	88,60%
3	100,00%
4	84,00%
5	69,00%

5.4.4. Alternativa 3. Conexión elevada o deprimida de la TV 121 a la AC 80

Para este caso se da prelación al flujo que viene de la TV 121 e ingresa a la AC 80 realizando un puente aéreo o un deprimido de manera que no interfiera con el flujo vehicular de la AC 80 que pretende salir de la ciudad.

Realizando la simulación de esta alternativa se encontró lo siguiente:



Ilustración 42 – Simulación alternativa 3. Fuente propia

Como lo muestra la ilustración 35, al realizar la simulación de esta alternativa, optimiza y descongestiona el tráfico vehicular, garantizando continuidad en todos los sentidos de flujo.

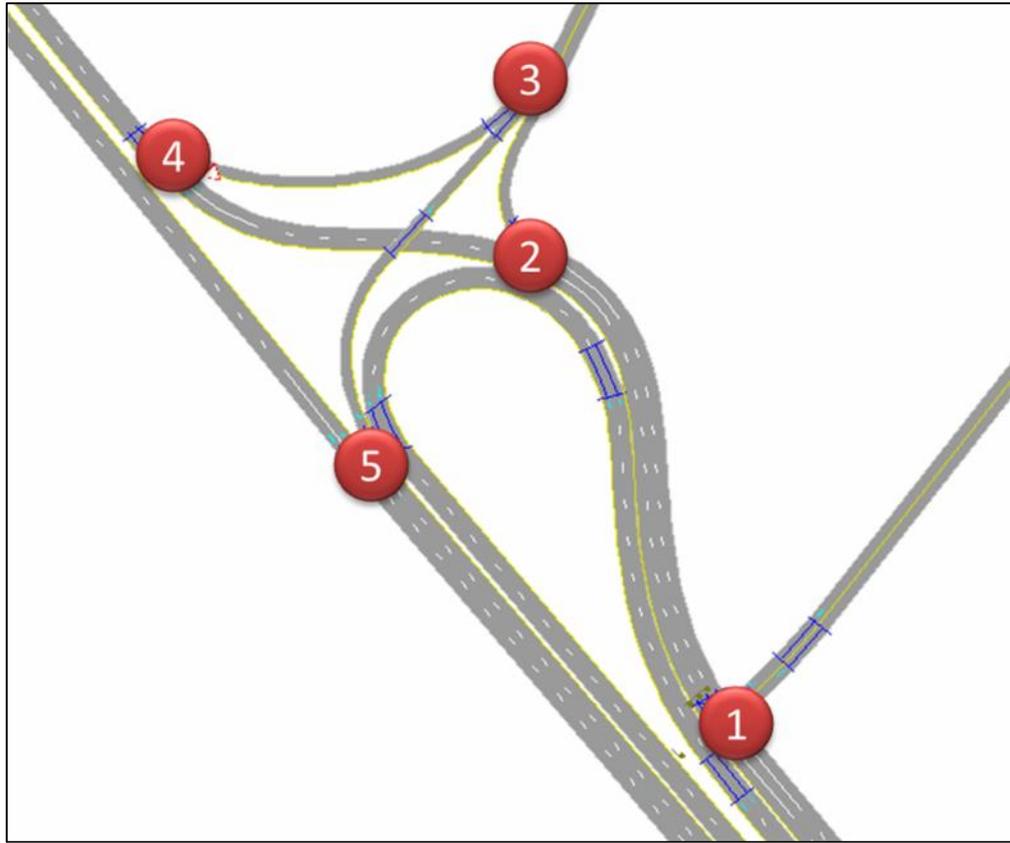


Ilustración 43 - Identificación de los puntos conflicto con puente TV 121 mediante Synchro, fuente propia

Las obras a realizar en el aspecto constructivo son de una complejidad media si se compara con la adecuación de una intersección tipo glorieta, esta alternativa plantearía el puente o un deprimido y una modificación en la evacuación de vehículos que van se Suba a las afueras de la ciudad. Ver anexo 3

Tabla 17. Capacidades en puntos de conflicto alternativa puente TV 121

PUENTE TV 121	
INTERSECCION	ICU
1	130,30%
2	95,70%
3	44,60%
4	111,80%
5	95,70%

6. ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la inspección visual y al momento del planteamiento de las alternativas, se recomienda que el puente peatonal Jenny Garzón conocido también como el puente de guadua, fuese removido del lugar, esto es basado en que interfiere si se cambia la configuración de la vía sobre todo en los vehículos que provienen de Suba y salen de Bogotá, de acuerdo a inspecciones visuales, dicho puente solo es usado por ciclistas generalmente en horas pico cuando existen desplazamientos a lugares de trabajo, los peatones no hacen uso del mismo.

A la recomendación anterior se suma un inconveniente, el puente anteriormente mencionado está ubicado justamente donde se realiza un cambio en la jurisdicción de la vía, hasta dicho puente antes de salir de la ciudad la administración de la Bogotá tiene potestad para hacer cambios en las vías y después de cruzar el puente quien tiene la autonomía es la concesión Sabana de Occidente, a lo cual cualquier obra de infraestructura vehicular es complicada.

De acuerdo al estudio de volúmenes vehiculares realizado mediante aforos, se evidencia que los volúmenes vehiculares son altos para el diseño actual de la intersección, siendo más evidente en horas pico, esto por presentarse cruces inadecuados de vehículos, provocando que las velocidades de flujo disminuyan drásticamente, llegando incluso a ser nulas en algunos momentos, esto se evidencia en los niveles de servicio encontrados siendo el más crítico para quienes salen de Bogotá (movimiento 4) el cual es **F**, siendo este el más crítico.

Se evidencian parqueaderos en lugares no autorizados, estando estos lugares ubicados en pleno lugar de conflicto, lo cual incrementa el problema, una recomendación es proporcionar una adecuada ubicación para ascenso y descenso de pasajeros, podría ser mediante bahías con el propósito de no interferir con el flujo normal.

Dentro de las alternativas planteadas se pretende comparar el comportamiento de cada una de estas, siendo la más favorable la alternativa 3, donde de acuerdo a las velocidades registradas según el modelo incrementan a más de 12 km/h llegando a 30 km/h en lugares donde antes no superaba la tercera parte de esta velocidad, notándose la mejora en los flujos vehiculares actuales.

De acuerdo a los porcentajes por tipo de vehículo que se presentan en la hora de máxima demanda, las motos llegan a un 46% del total de vehículos, los vehículos particulares tienen un 33% y los buses un 12%, el restante corresponde a vehículos pesados.

Se propone plantear una restricción para los vehículos pesados, aunque actualmente existen restricciones ambientales podría extenderse como medida de descongestión, adicionalmente se debe promover el uso de transporte público no solo en esta zona sino en la ciudad en general, porque si realizamos un cálculo equivalente en buses de acuerdo a vehículos livianos, se podría llegar a ver una reducción de un 50% en una situación positiva y optima, la ciudad actualmente realiza campañas donde se pretende concientizar de esta situación a la ciudadanía, mientras en un bus de servicio público pueden ir sentadas un promedio de 25 personas, en un automóvil se transportan 2 personas y el lugar que ocupa un vehículo liviano respecto a un bus es de 2 a 1, es una reducción muy significativa, pero para llegar a esto es necesario convencer a la comunidad que el transporte público funciona, es eficiente y podría llegar a ser rápido si se dejara de usar el carro como medio de transporte.

7. CONCLUSIONES

El conflicto entre los flujos vehiculares que provienen de la TV 121 con los que provienen de la AC 80 sentido oriente-occidente es el punto más crítico del retorno.

La alternativa 1 semaforización no generó cambios considerables a favor del tráfico por lo que se descarta la opción.

Aunque la alternativa 2 genera una nueva conexión a los vehículos que ingresan a la ciudad por la AC 80 usar la glorieta para ingresar a suba, esto atrae más vehículos lo cual a futuro podrá generar mayor conflicto operacional. Adicional a esto, esta alternativa requiere de intervención total de la zona para las obras constructivas de ser el caso.

La capacidad de una glorieta es más bajo que en una intersección canalizada de una forma más adecuada, además que se pierde jerarquía vial y prioridad en todos los tramos.

La alternativa 3: Puente Vehicular TV 121 es la opción más viable para solucionar el conflicto de tránsito ya que independiza los flujos vehiculares de la TV 121 y la AC 80 sentido oriente-occidente. Adicional a esto, solo se desarrollarían obras constructivas para el puente vehicular. No se traslada el puente peatonal Jenny Garzón ni se retira el semáforo peatonal de la KR 119. Por otro lado

8. BIBLIOGRAFÍA

REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal y Mayor y CÁRDENAS G. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte: Planeación del transporte urbano. Segunda edición. Bogotá, D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2005. 430p.

PANTOJA SANTANDER, Carlos Andrés. Prediseño geométrico a nivel y a desnivel de la Intersección el jazmín. Manizales, 2005, 97p. Trabajo de investigación (especialista en vías y transportes). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

POSADA GARCES, Gregorio Alexis. Diseño geométrico de una glorieta en la intersección vehicular del tramo Ceritos-Cauya PR 36+750 entrada al municipio de Belén de umbría Risaralda. Manizales, 2008, 27p. Trabajo de investigación (especialista en vías y transportes). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

URIBE CELIS, S.L. "Manual de Diseño Geométrico para Vías e Intersecciones urbanas". Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, 2008.

NARANJO HERRERA, Víctor Hugo. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales, 2008, 121p. Trabajo de investigación (especialista en vías y transportes). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

ARDILA GOMEZ, Arturo. La Planeación Del Transporte: Una Nueva Propuesta Con Énfasis En La Operación Y El Mantenimiento. En: revista de ingeniería Uniandes Vol.; 4.; p. 28-37.

INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá, 2008, 276p.

SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ. *Manual de planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte.* 2010