

EVALUACIÓN DE CRUCES A DESNIVEL COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN AL
TRÁFICO DE LA AVENIDA CIUDAD DE CALI CON CALLE 6D



Edgar Hernán Bocanegra Hernández & Michael Steven Parra León.
Mayo 2020.

Tutor: ING. Alexandra Morales Rey

Universidad Antonio Nariño.
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil.
Trabajo de Grado

The urban development of Bogotá has always been in question, failures in planning, design and conceptualization have ended up politicizing decisions that have a specific technical nature, only in the recent past have structures other than roads been included in the available infrastructure. double road and bridges that for years were the only ones that the capital developed. For many years the city had growth and evolution in many aspects but accumulated a significant lag in road infrastructure that today has a high impact on the quality of life, productivity and competitiveness of the city and its inhabitants; The expansion of vehicles has brought new situations that propose new challenges for city administrations, the adaptation of mobility corridors, public policies and even the social concepts that usually generate alternative solutions that do not end up convincing all sectors. of society and in some cases end up generating more problematic problems than those that have already been detected. The overpasses are optimal architectural solutions for crossings that due to the concurrence of multiple factors end up generating congestion and risks for road actors, inexplicably a capital city like Bogotá has not made use of this alternative solution in its mobility problems and only in recent years, only a few are counted in special spaces, but their inclusion in the road infrastructure is far from satisfying the real needs of society, therefore it is necessary to investigate the relevance, feasibility and possible operations of this type of structure and this way promote the evolution in terms of mobility from the available infrastructure

Key Words: Overpasses, Road Infrastructure, Traffic Analysis, Vehicle Crossings

El desarrollo urbanístico de Bogotá siempre ha estado en entredicho, fallas en la planificación, diseño y hasta conceptualización han terminado por politizar decisiones que deberían tener un carácter esencialmente técnico, solo en el pasado reciente se han incluido en la infraestructura disponible, estructuras diferentes a las vías de doble calzada y puentes que por años fueron las únicas que la capital desarrollaba. Por muchos años la ciudad tuvo un crecimiento y evolución en muchos aspectos pero acumulo un rezago significativo en infraestructura vial que al día de hoy, productividad y competitividad de la ciudad y sus habitantes; la expansión de los vehículos ha traído nuevas coyunturas que proponen nuevos retos para las administraciones de las ciudades, la adaptación de los corredores de movilidad, políticas públicas y hasta conceptos sociales suelen generar alternativas de solución que no terminan por convencer a todos los sectores de la sociedad y en algunos casos terminan por generar mayores problemáticas a las que ya se tenían. Los pasos a desnivel son soluciones arquitectónicas óptimas para los cruces que por la concurrencia de múltiples factores terminan por generar congestión y riesgos para los actores viales, inexplicablemente una ciudad capital como Bogotá no ha hecho uso de esta alternativa solución en sus problemas de movilidad y solo en los últimos años se cuentan apenas unos pocos en espacios especiales, pero su inclusión en la infraestructura vial está lejos de satisfacer las necesidades reales de la sociedad, por ende es necesario investigar la pertinencia, factibilidad y posibles operación de este tipo de estructuras y de esta forma promover la evolución en términos de movilidad desde la infraestructura disponible

Palabras Clave: Pasos a desnivel, Infraestructura vial, Análisis de tránsito, Cruces vehiculares

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
MARCO REFERENCIAL.....	8
4.1. ANTECEDENTES	8
4.2. MARCO CONCEPTUAL	10
4.3. MARCO TEÓRICO.....	14
4.3.1. Estudios de transito.....	14
4.3.2. Ciclo semafórico	15
4.3.3. Nivel de servicio	16
4.3.4. Calidad de la Progresión	18
4.3.5. Intersecciones A Desnivel.....	20
4.3.6. Modelamiento (Matemático) del transito.....	21
4.3.7. Modelos Microscópicos	22
4.4. MARCO LEGAL.....	23
ESTUDIO DE TRANSITO	24
5.1. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	24
5.2. CARACTERIZACION DE LA MOVILIDAD	26
5.2.1. Observación de campo.....	26
5.2.2. Estacionalidad del flujo vehicular.....	28
5.2.3. Composición vehicular	30
5.2.4. Periodización.....	30
5.2.5. Aforo vehicular.	31
5.2.6. SemafORIZACIÓN de la intersección	35
5.2.7. Calidad de la progresión - Coeficiente de grupo	36
5.2.8. Simulación del estado actual.....	38
6. ALTERNATIVAS DE SOLUCION	40
6.1. ALTERNATIVA 1. GIROS A DESNIVEL.....	43
6.2. ALTERNATIVA 2. CARRILES DEPRIMIDOS Y ROTONDA	47
6.3. EVALUACION Y SELECCION	50
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	58
ANEXO A – DATOS AFORO Av. Ciudad de Cali.....	58
ANEXO B – DATOS AFORO Calle 6D.....	60

Tabla de figuras

v

Figura 1. Esquema de la intersección Av. Ciudad de Cali – Calle 6D	24
Figura 2. Registro Fotográfico de la intersección.....	25
Figura 3. Composición vehicular observada.....	30
Figura 4. Periodización del flujo vehicular diario	31
Figura 5. Aforo vehicular Av. Ciudad de Cali con Calle 6D.....	32
Figura 6. Aforo vehicular Calle 6D con Av. Ciudad de Cali con.....	34
Figura 7. Plano semafórico de la intersección	36
Figura 8. Simulación de las condiciones actuales de la intersección.....	38
Figura 9. Alternativa 1 – Detalle de giros a desnivel -1	44
Figura 10. Alternativa 1 – Detalle de giros a desnivel - 2	45
Figura 11. Plano semafórico alternativa 1	46
Figura 12. Simulación giros a desnivel.....	47
Figura 13. Alternativa 2 – Detalle de Deprimido y Rotonda - 1.....	48
Figura 14. Alternativa 2 – Detalle de Deprimido y Rotonda - 2.....	48
Figura 15. Simulación Deprimido y Rotonda	49

Listado de Tablas

Tabla 1. Rango horario aforado por día	32
Tabla 2. Elementos de comparación entre alternativas solución	51

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento vertiginoso que ha tenido la industria automotriz durante los últimos años sumado a las políticas que promovieron el transporte automotor como impulso de la economía en la sociedad han llegado a un punto de colapso, o al menos esta es la realidad que se observa en las grandes ciudades, la disminución de la velocidad promedio, el aumento de la congestión vehicular y el deterioro constante de la calidad del aire en las ciudades han puesto en el centro de debate la pertinencia de continuar con ese modelo de movilidad. En el 2018 el INRIX Global Traffic Scorecard Report Ubico a Bogotá como la tercera más congestionada del mundo y para el reporte del 2020 afirma que es la capital de mayor congestión a nivel mundial, son frecuentes los informes de toda índole que dan cuenta de cómo los bogotanos pierden tiempo en unas vías cuya velocidad promedio es de apenas de 23,67 Km/h, basado en datos investigación “Sistema de Ciudades” del B.M. y el D.N.P. (Solano Vargas, 2020).

Adicionalmente estas congestiones tienen efectos aún más negativos como lo son el aumento de la contaminación ambiental lo que ha derivado en múltiples emergencias ambientales decretadas por el exceso de material articulado en el aire desde finales del 2019 e inicios del 2020 Bogotá declaró dicho estado de emergencia dados los altos índices de contaminación y los potenciales efectos que esto traería sobre la salud de los

capitalinos por ende se decretaron medias de pico y placa extendido y restricciones a algunos sectores de transporte de carga y demás, en síntesis las emergencias se han conjurado mediante el aumento a las restricciones de circulación de automotores hasta que los índices de contaminación retornes a mínimos según estándares de la secretaria de ambiente (Redacción Bogotá, 2020).

La Av. Ciudad de Cali, al occidente de la capital, es un corredor vial estratégico que por su morfología presenta los más altos índices de congestión, inseguridad y accidentalidad vial. El deterioro de la malla vial, la falta de planificación y la densidad poblacional son un factor de cultivo para una movilidad caótica, las congestiones vehiculares se prolongan durante todo el día y la población debe atravesar el corredor vial, reclama soluciones efectivas, problemas que se acrecientan en los tramos sur occidentales donde la alta densidad poblacional, la falta de cultura y los mínimos controles por parte de las autoridades transforman al corredor vial en una congestión constante que sin notarlo se ha ido incorporando al diario vivir de los habitantes del sector. Los cruces en esta vía son puntos críticos la densidad de automóviles y la falta de vías secundarias hacen del corredor una vía crítica susceptible a demoras y embotellamientos causados en gran medida por la deficiente estructura vial que se ha desarrollado sobre este corredor.

Por años los habitantes de las zonas colindantes a la Av. Ciudad de Cali, sobre todo en el sur occidente, han aceptado sin mayor reparo el aumento desproporcionado de la congestión vehicular, la disminución de la velocidad promedio, siniestralidad vial,

deterioro de la seguridad y ahora con las alertas de la emergencia ambiental una preocupación mayor por el tema de la contaminación ambiental y los riesgos de salud que ello conlleva; estas problemáticas han consolidado en la opinión pública un deseo de cambio radical en la infraestructura disponible.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma un paso a desnivel puede solucionar el problema de embotellamiento que se causa en la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Calle 6D?

JUSTIFICACIÓN

La intersección seleccionada se ha identificado por la experiencia y observación cotidiana del flujo vehicular de este punto, adicionalmente la secretaria de la movilidad también ha identificado la problemática que allí se presenta y al respecto ha expresado que la congestión se presenta por entrecruzamiento vehicular debido al giro izquierdo desde la Avenida Ciudad de Cali en sentido Sur-Norte, para tomar la Calle 6D hacia el Occidente y viceversa; y la intervención temporal propuesta fue canalizar los flujos vehiculares con dispositivos tipo cono (SDM, 2020). La misma fuente señala que la Av. de Las Américas en la hora de máxima demanda (entre las 6:00 y las 7:00 p.m.), en un día típico de lunes a viernes presenta volúmenes que sobrepasan los 9.000 vehículos circulando por sus carriles, exceptuando los carriles exclusivos de Transmilenio; los cuales terminan en la Av. Ciudad de Cali y un 70% necesitan ingresar al sector del Tintal utilizando la Calle 6D, indudablemente la falta de accesos a estos barrios del tinal y alrededores complican el tema, miles de personas residen en estos conjuntos y el panorama no es muy alentador dado los proyectos que están en marca para viviendas de interés social tipo apartamento.

La implementación de sistemas de transporte y las decisiones sobre la movilidad de los habitantes suelen ser cuestiones políticas que dependen de quien este diseñando la ciudad y para quien es organizada, la política colombiana está lejos de llegar a consensos sobre la forma como deberían darse los desarrollos y crecimientos en materia de movilidad y urbanismo, los principales rubros de ejecución presupuestal son absorbidos por el

mantenimiento de la red vial y son pocas las obras que se ejecutan para aumentar capacidades, disminuir tiempos y desarrollar de mejor manera la infraestructura vial, Bogotá se concentra en mantener y si se puede expandir, pero poco hace para incorporar nuevas alternativas de diseño que maximicen el espacio y transformen la ciudad.

Una revisión literaria de la caracterización, modelación y diseño de intersecciones las define como factores en una red vial, que deben resolverse de forma particular, para ello los conductores necesitan un intervalo de espacio y tiempo en los momentos de circulación, regularmente en vías principales, generando que el diseño de una intersección vial desde la programación de Software, sirva como medio de transición de fases que crean una lógica de control basada en los tiempos y demanda vehicular para el manejo de las intersecciones (Cáceres Cárdenas, Díaz Trujillo, Morales Vargas, Cifuentes Ospina, & Parra Gómez, 2016).

Como lo afirma Mosquera Becerra, el transporte es una necesidad fundamental para la accesibilidad de sitios residenciales, centros industriales, de comercio, centros de estudios y lugares de recreación; simultáneamente la movilidad es un factor fundamental en el movimiento económico, dado que hace más fácil el movimiento de mercancías o víveres en la capital. simultáneamente, los sistemas de masivos de movilidad reflejan relaciones de características (Mosquera Becerra, 2016). El tramo a analizar colinda con zonas de alta densidad poblacional y es la vía principal del occidente de la ciudad que comunica a las localidades de Bosa y Suba atravesando la ciudad de norte a sur, sin lugar a dudas la

población de estas zonas requiere movilizarse permanentemente y sumado a esto el transporte de carga aportan una cuota de ocupación realmente importante para este sector que por ahora no cuenta con sistemas masivos de transporte salvo algunas rutas del SITP, las congestiones han desplazado muchos de los pasajeros de estas alternativas de transporte hacia modalidades no motorizadas que hacen uso de espacios no viales, no tanto por el impacto ambiental que esto genera, sino por la significativa reducción en los tiempos de desplazamiento y a pesar que los usuarios aumentan día tras día no se observa una mejoría en la movilidad sino que por el contrario se acentúa a la vez que aparecen otras problemáticas ligadas a la inseguridad y la siniestralidad.

De estas problemáticas nace el concepto de urbanismo complementario que es el que fomenta bajo los fundamentos de salvaguardar a los grupos poblaciones más vulnerables (i.e. peatones y ciclistas) y mejorar la infraestructura vial (i.e. puentes, pasos a desnivel y pasos a nivel). Como una consecuencia, las avenidas principales son las encargadas de las interacciones cotidianas en las ciudades, (CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, 2018). Y es bajo este concepto que se desea analizar las posibles alternativas que presenten una renovación urbana efectiva, mediante la transformación de la infraestructura vial de este punto utilizando pasos a desnivel.

OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de solución al transporte con un paso de desnivel en la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Calle 6D.

.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- I. Caracterizar el tránsito en la intersección seleccionada, determinando los elementos y variables que determinan las condiciones actuales de la intercepción.
- II. Establecer los factores críticos que deben armonizarse dentro de una posible solución al problema de movilidad.
- III. Identificar las posibles alternativas de solución incluyendo sus características, elementos constitutivos predominantes y demás elementos claves para su selección.
- IV. Realizar un proceso de selección para la alternativa de solución idónea mediante la simulación de los factores claves y el análisis de escenarios.
- V. Formular una alternativa de solución al problema de movilidad en el tramo seleccionado con las características arquitectónicas y las medidas complementarias que la respaldan.

MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

La movilidad es un tema recurrente de estudio dado que las relaciones que se establecen trascienden a múltiples ámbitos de la sociedad y al día de hoy es factible encontrar causas o efectos en casi todos los aspectos que rodean la vida en sociedad. Para los fines de este trabajo se han tomado como antecedentes y recolectado las conclusiones y recomendaciones de los siguientes trabajos:

- I. Para una alternativa con métodos que explican la realización de intersecciones a desnivel, documento elaborado por el Instituto Mexicano del Transporte, el citado ministerio presenta el informe como una investigación en donde en función de la geometría se seleccionaron dos tipos de intersecciones para realizar el análisis; se definieron las variables de operación, consideraron: volúmenes de tránsito, velocidad de operación, y, en su caso, la clasificación vehicular y así validar la hipótesis que con la distribución de probabilidades de Poisson, es posible determinar la probabilidad de ocurrencia de que dos vehículos se encontraran en una intersección y señala los pasos a desnivel como la opción que logra minimizar la materialización de accidentes (Mendoza Sánchez, Quezada Bermúdez, & Trejo Trejo, 2015).

- II. En el cual se estudia una zona en específico de alta afluencia vehicular e importancia para habitantes y usuarios de transporte ocasional en Santiago de Cali, la zona de estudio

es claramente afacetada en el tránsito por algunos variables tales como la baja visibilidad de la vía, el ascenso y descenso de pasajeros en zonas no permitidas, poca señalización, el alto flujo de peatones invadiendo las calzadas, la inexistente bahía de parqueo, entre otros factores que determinan la movilidad. Adicionalmente, un aumento significativo y desmedido en el TPD (Transito Promedio Diario); esta investigación se determinó con el fin de caracterizar y seleccionar alternativas de solución integral a la problemática de circulación vehicular para la Glorieta de Menga , por medio de una modelación apoyado con un software de micro simulación de tráfico (Ramírez Osorio, 2018).

- III. Con base a el proyecto de elaborado en la Universidad Francisco de José de Caldas, Bogotá; el proyecto Es por ello nace de la necesidad de realizar el estudio de un paso a desnivel en la intersección de las calles mencionadas, fue estructurado en diferentes etapas progresivas, que inician desde la preparación de información tomada en campo con un posterior procesamiento de los datos obtenidos, acto seguido se elaboran los planos requeridos y el análisis de los resultados, que permite la integración de la información para la exposición del diseño final de un paso a desnivel funcional (Almanza Rodriguez & Mora Contreras, 2015).
- IV. En el artículo de idea de proyecto del semillero de investigación en vías, de la Universidad Distrital Francisco de José de Caldas; los autores indagan por una solución de movilidad vial en la intersección seleccionada; mediante la propuesta de un diseño geométrico vial, para los autores dadas las condiciones de operación actual se debe

pensar en sustituir con un diseño geométrico vial el cual sea con base a un pasos a desnivel para este sector, y así facilitar el movimiento progresivo de vehículos para satisfacer las condiciones de operación vial, en este trabajo se toma las normas de diseño que señala el INVIAS. En base a los resultados obtenidos se realizó el diseños en perfil, secciones transversales y planta; adicionalmente se realizó una modelación en el software “Infracore” para muestras del planteamiento final (Pastran Rojas & Girón Rodríguez, 2015).

- V. En el trabajo de investigación realizado en la Universidad Católica, la cual señala que su objetivo es brindar una posible solución al embotellamiento generado en la autopista sur. Disminuir las interrupciones vehiculares en este sector tan importante de conexión vehicular garantizaría que esta vía siga siendo la principal alternativa de movilidad de los ciudadanos. Se busca proponer una alternativa en cuanto a diseño geométrico en la intersección, para mejorar el tráfico en la zona ya expuesta en este sector de Bosa (autopista sur con calle 63). Evaluando las mejoras que causaría para la población habitante de este sector y para la fluidez total la vía mediante el uso de un programa de simulación de tránsito que permite modelar el comportamiento vial (Hernandez Leon & Perez Rodriguez, 2019).

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos relacionados con el tránsito suelen ser homónimos o contener un carácter coloquial en algunos sectores de la población, de tal forma que resulta necesario de la

mayor precisión y claridad posible a la terminología utilizada en el desarrollo de la investigación; estas definiciones se extraen de una revisión bibliográfica extensa y se presentan según la definición más completa y acorde con esta investigación:

- *Aforo vehicular*: Es el conteo de distintos factores que se movilizan por un sector en particular, cuyo objetivo es determinar el flujo de entrada y salida, con parámetros o factores que clasifican dichos factores, los cuales pueden ser tamaño continuidad y/o horas de máximo flujo. (CORASCO, 2008).
- *Carretera*: Es un tipo de infraestructura en énfasis de transporte en la que su principal finalidad es favorecer la movilidad de vehículos en características como la continuidad en el espacio, seguridad y tiempo, con los niveles más altos en seguridad y de comodidad con pocos cambios durante el trayecto. Adicionalmente se puede constituir por una o más calzadas, con uno o dos sentidos de circulación o combinaciones de sentidos y carriles para la misma carretera, estando con forme a las demandas de transito límites permitidos, función y clasificación de esta (INVIAS, 2014).
- *Carril*: Es una parte de la vía caracterizada para el paso de vehículos (INVIAS, 2014).
- *Convergencia*: Es la interacción de vehículos provenientes de varios sentidos, que causa la competencia entre usuarios por el uso de la vía generando una zona de conflicto, la cual, debe ser minimizada con una geometría que disminuya los impactos del movimiento y garantice una circulación cómoda y segura (AASHTO, 2011).

- *Diseño Geométrico*: Es el diseño de un bosquejo el cual está enfocado en demostrar las características fundamentales de diseño en un sector de la vía.(García García, Pérez Zuriaga, & Camacho Torregrosa, 2012).

- *Divergencia*: hace alusión a una ramificación de vía en la cual los vehículos se separan de la corriente principal de flujo. (IDU, UNAL, & CAF, 2008).

- *Entrecruzamiento*: Es una situación común en la que dos corrientes de vehículos que se movilizan en el mismo sentido confluyen, siguen combinados por cierto tiempo y luego se separan, durante este proceso, cierto número de vehículos pasan de la corriente derecha a la izquierda y viceversa, mediante cambios de carril, cruzando mutuamente sus trayectorias, sin la intervención de instrumentos de control (IDU, UNAL, & CAF, 2008).

- *Fase*: Fracción de cambio de luces en un semáforo, el cual se determina por el cambio de luces, y por ende de la movilidad de la intercepción. (Valencia Alaix, 2000).

- *Flujo vehicular*: Es el número de vehículos que transitan en un tramo el cual se utiliza para analizar, para determinar el nivel de eficiencia. Este se basa en tres variables: flujo, velocidad y densidad. Cuando se relacionan las mismas obtenemos características del tránsito y permiten predecir opciones de operación (CORASCO, 2008)

- *Intersección*: Una intersección se define son un cruce o zona de conflicto donde dos o más vías de igual o distinta jerarquía, que se pueden interceptar al mismo o diferente nivel, las cuales interactúan con las vías que usan los vehículos para realizar todos los cruces permitidos y posibles (INVIAS, 2014).

- *Intersección A Desnivel*: Es la unión de ramificaciones de conexión que se proyectan por encima o por debajo de una vía para garantizar la continuidad del tránsito entre carreteras que se cruzan y donde se generan conflictos (De León, De León, & Esparza, 2015).

- *Movilidad sostenible*: Es aquella capaz de satisfacer las necesidades de movilización en una sociedad, que garantiza moverse libremente de un punto inicial hasta un punto final, acceder a distintas vías facilitando las alternativas, comercialización de mercancía o establecer relaciones sin deteriorar los valores humanos de los demás o decrecimiento ecológico básico, actual. (WBCSD, 2001)

- *Volumen de tránsito*: Cantidad de vehículos los cuales pasan por una parte de vía o carretera de estudio, con sentido hora y cantidad como variables a considerar, os cuales pueden estar en año, mes, semana, día, hora o minutos (INVIAS, 2014).

- *PTV Vissim*: software de diseño y simulación, para el estudio de tránsito en micro zonas de estudio. (GRUP., 2020)

4.3. MARCO TEÓRICO

4.3.1. Estudios de tránsito

Ajustando las ideas de McShane y Roess, se puede afirmar que estos estudios son todos aquellos que permiten la caracterización del tráfico mediante el establecimiento de relaciones matemáticas basadas en modelos de regresión lineal, logarítmica y exponencial, entre el volumen de tránsito (flujo vehicular), la velocidad (específicamente velocidad espacial) y la densidad. Dichos modelos han facilitado realizar pronósticos del comportamiento de cada variable respecto a las demás, así como identificar la afectación o influencia que tienen sobre estas, las características propias de algunos de los elementos del tránsito, como la vía, el vehículo y la señalización, y dispositivos de control de tráfico. En forma complementaria, se han estudiado las características físicas y geométricas de la infraestructura a través de la realización de inventarios (Quintero, 2011).

En el mismo sentido se encuentra la conceptualización de la Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción de España, quienes afirman que la principal finalidad de un estudio de tránsito es caracterizar la movilidad en un área establecida, caracterizando de una forma coordinada todas las distintas variables que hacen parte del concepto de óptima movilidad y simular una correlación de los nuevos proyectos de infraestructura vial con la maya proyectada o ya existente, con el fin de realizar un puntual diagnóstico que brinde soluciones eficaces a cada zona de estudio con el fin de

pronosticar una movilidad eficaz, segura y que garantice un acople con el medio ambiente (EADIC, 2020). Otra aproximación al concepto según el Instituto de Ingenieros de Transporte, el estudio de tránsito es un examen detallado y análisis de un sistema de transporte respaldado por la recopilación de datos (ITE, 2010). El proceso es el siguiente:

- Un estudio comienza con la identificación y definición de un problema de transporte, seguido por la recolección de datos y análisis.
- Se realiza un estudio para explorar un aspecto específico de un sistema de transporte.
- Los resultados del estudio se resumen en un informe.

Es importante resaltar que como requisito en el estudio de tránsito, se tiene que establecer la ubicación de la zona de estudio dentro de un contexto local, regional y nacional, tanto en el aspecto socio económico, administrativo y político junto a su localización dentro de la malla vial (MOPC, 2009). Además, tal y como lo solicita el INVÍAS, se debe indicar la troncal o transversal a la cual pertenece los corredores que intervienen el proyecto de infraestructura vial.

4.3.2. Ciclo semafórico

Debe ser entendido como la conglomeración de las fases las cuales dan paso a los tramos de cualquier cruce sin que genere conflictos. En un trascurso que asigna y distribuye los tiempos de paso, es relevante la “longitud del ciclo”, la cual no es más que el tiempo de

éste medida en segundos (Alzate Botero & Hurtado Quintero, 2007). Existen varios modelos que estudian la optimización y correcta parametrización de la longitud del ciclo entre los que se destacan (Carrasco Avendaño & Wazhima Clavijo, 2012):

$$\text{Metodo de Webster } C_0 = \frac{1.5 L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\Phi} Y_i}$$

$$\text{Metodo de Akcelik } C_0 = \frac{(1.4 + K) * L + 6}{1 - Y}$$

Dónde:

C_0 = tiempo de ciclo (s)

L= es la sumatoria del tiempo perdido en el período.

Y_i = máximo relación entre la corriente actual y la creciente con congestión.

Φ = número de ciclos.

4.3.3. Nivel de servicio

Tomando en referencia los estudios de tránsito en el ordenamiento territorial, el parámetro que mejor define la calidad del servicio de una vía es su velocidad; a partir de ella se puede determinar su nivel de servicio, el cual se entiende como la aptitud del flujo que caracteriza esta vía y a tipo sus beneficiarios, que se refleja en características de comodidad o variabilidad que perciben éstos al hacer uso de la vía (Escobar, Garcia, & Tolosa, 2013). Se define como nivel de servicio a un indicador de variables cualitativas,

comúnmente empleado para calcular la aptitud y las situaciones del flujo vehicular, explicado en elementos como velocidad, seguridad, comodidad, independencia del conductor para manipular un vehículo, tiempo de camino, entre otras síntesis que permitan valorar el servicio de la vía. De acuerdo al HCM 2000, los niveles de servicio para vías con varios carriles se definen como:

- Nivel A: tráfico a tráfico libre, los pilotos conservan la libertad de adoptar la velocidad y maniobrar con facilidad, debido a que no se muestran obstáculos en la carretera. El distanciamiento medio es del orden de 130m y la densidad máxima es de 7 veh/km/carril.
- Nivel B: movilización prudentemente a flujo libre, aunque se detectan los otros vehículos. El distanciamiento medio es del orden de 80m y la densidad máxima es de 11 veh/km/carril.
- Nivel C: Clase adentro del cual queda evidente el dominio de la densidad sobre las rutinas de conducción, la manifestación de otros vehículos afecta movimiento dentro de la tendencia de tráfico. La separación media es de 60m y la densidad máxima es de 16 veh/km/carril. Las situaciones de comodidad y seguridad se restringen.
- Nivel D: La facultad de maniobra está gravemente limitada debido a la congestión vehicular. El distanciamiento promedio es de 40m y la densidad máxima es de 22

veh/km/carril. Las situaciones de comodidad y seguridad son relativamente bajas, en mencionado nivel cualquier hecho afecta connaturalmente el flujo de la vía.

- Nivel E: opera a toda capacidad, la densidad de vehículos es estrechamente alta, por lo que los conductores no están en facultad de maniobrar, hasta la mínima dificultad en el flujo es de vital relevancia y pueden generar graves interrupciones. El espaciamiento es mínimo y la densidad máxima es de 28 veh/km/carril.

- Nivel F: tráfico a flujo forzoso, el volumen de operación en la vía sobrepasa su capacidad de diseño, la independencia de conducir es excesivamente arduo, las situaciones de seguridad y comodidad son marcadamente bajas, se presentan repetidamente trastornos por la alta densidad de vehículos y al desequilibrio del flujo, acreditado como “cuellos de botella”.

4.3.4. Calidad de la Progresión

Para Llanos Rimarachin, es una de las características de mayor criticidad que deben ser evaluadas en el análisis operacional de una intersección señalizada, para dicha evaluación se hace uso de un coeficiente de grupo que es una categorización general que representa la calidad de progresión en una manera aproximada (Llanos Rimarachín, 2018). García Plaza expone que se han definido Seis tipos de arribo para el flujo de arribo dominante, los cuales se describen a continuación (García Plaza, 2018):

- Tipo 1: Se determina por grupos densos en los que más del 80% del volumen llega a la intersección al comienzo de la fase roja. Este tipo suele asociarse a tramos cortos con muy mala progresión en el sentido de movimiento que se esté estudiando, y probablemente, buena progresión en la otra dirección.

- Tipo 2: Se identifica por grupos moderadamente densos llegando a mitad del intervalo rojo de la señalización, o por grupos dispersos en los que del 40 al 80% del volumen de tráfico llega a lo largo de la fase roja. Normalmente, este tipo suele asociarse a tramos de longitud media con progresión de señalización desfavorable en la dirección de estudio.

- Tipo 3: Este puede definirse mediante dos condiciones. Si las señales que delimitan el tramo están coordinadas, este tipo de llegada se caracteriza por un grupo que contiene menos del 40% del volumen de tráfico llegando una parte durante el intervalo rojo y la otra durante el verde. Si por el contrario las señales no están coordinadas, este tipo de llegada se caracteriza por grupos llegando a la intersección en diferentes momentos del periodo de análisis, de modo que se puede considerar que las llegadas son aleatorias.

- Tipo 4: Identificada por grupos moderadamente densos que llegan en medio del intervalo verde o grupos dispersos que contienen entre el 40 y el 80% del volumen del

grupo llegando a lo largo de la fase verde. Este tipo suele asociarse a tramos de longitud media con una progresión de señalización favorable en la dirección que se está estudiando.

- Tipo 5: Caracterizada por grupos densos de más del 80% del volumen que llegan a la intersección al comienzo de la fase verde. Este tipo de llegada suele asociarse a tramos cortos con una progresión de señalización muy favorable en la dirección de estudio y un número de entradas de la otra calle de bajo a moderado.
- Tipo 6: Asociada a grupos densos de más del 80% del volumen llegando al comienzo de la fase verde. Este tipo de llegada ocurre solo en tramos muy cortos con una progresión de señalización excepcionalmente favorable en la dirección de estudio y con entradas laterales despreciables.

4.3.5. Intersecciones A Desnivel

En términos generales el paso a desnivel se define como el grupo con rampas los cuales se generan para hacer más factible el tránsito de vehículos en una intercepción mejorando los tiempos y la seguridad del tránsito entre una serie de vías que se cruzan en distintos niveles; de la misma manera en algunos estudios se conceptualiza que puede suelen estar en sectores en varias vías se entrecruzan a diferentes niveles con el fin de garantizar todos los cruces posibles de canje de sentido o de vía, por ende la pequeña cantidad posibles

lugares de peligro. Todos los pasos desnivel que se realizan para maximizar considerablemente la capacidad de los cruces que por su nivel se consideran importantes, establecer altos cuerpos de tráfico y óptimos factores de confiabilidad para usuarios en vehículos y peatones, de la misma manera para mantener las características funcionales de un intervalo constante de carretera sin intersecciones. La Capacidad, Seguridad y Factibilidad son características fundamentales para determinar la construcción de intersecciones dados los costos. (Mora Castañeda, 2010). Según las condiciones de operación y los requerimientos técnicos se han desarrollado múltiples tipos de intersecciones de este tipo dentro de las que se resaltan las siguientes:

- ✓ Intersecciones tipo Y y T
- ✓ Diamante
- ✓ Single Point
- ✓ Tréboles parciales
- ✓ Tréboles completos
- ✓ Intersecciones Rotatorias
- ✓ Intersecciones a desnivel direccionales

4.3.6. Modelamiento (Matemático) del tránsito

Afirman Méndez y García que en la teoría del flujo de tránsito vehicular se pueden hallar distintos métodos de entender los parámetros que se muestran y formar un modelamiento matemático. Aquellos modelos se pueden separar por su horizonte de referencia (microscópicos, mesoscópicos o macroscópicos), por el grado de la incógnita independiente (continua o discreta), por el perfil de sus técnicas, por su forma de trabajo

(analíticas o simulaciones), o también por el grado de su estudio (rede, tramo, o intersección de la carretera). Algo en que se agrega particularmente, para este proyecto, se observan exclusivamente por su rango de detalle (Alvarez Mendez & Luna Garcia, 2014).

4.3.7. Modelos Microscópicos

Para el modelo microscópico se determinan dispositivos individuales llamados unidades conductor-vehículo y nombradas con la letra α , cuyas características y conducta crean de una forma combinada el flujo de tránsito global. Conjuntamente, éstos modelos se basan en tipologías propias de la conducta y factores humano como: el tiempo en dar una reacción a cada estímulo, el rango de respeto o irritación, implantar las luces de traslado de carril (direccionales) o el tiempo empleado para el traslado de carril; así como de tipos de los automotores los cuales son determinantes para variables como: el tiempo de aceleración y de frenado. Sus principales variables de estudio velocidad, aceleración posición entre otras.(Alvarez Mendez & Luna Garcia, 2014).

Desde los primeros modelados, los modelos car-following fueron pioneros respecto de sus similares modelos microscópicos en implementarse, aquello dado primordialmente a la larga y profunda investigaciones desarrolladas en los años 50 por la compañía norteamericana automotriz General Motors. Los modelos car-following están basadas en

la ley de estímulo – respuesta conocido como conductismo, en la cual donde la respuesta de parte del receptor sufra algún cambio en la velocidad dicho cambio será considerado como la aceleración, y dicho estímulo, puede tener distintos orígenes permitiendo así la obtención de diferentes modelos. A pesar de la variación de los modelos, todos ellos suponen la existencia directamente proporcional entre la velocidad de movimiento con el distanciamiento entre los automóviles, o también, entre la aceleración y el delta de velocidades entre automóviles consecutivos (Herman, Potts, Montroll, & Rothery, 1959).

4.4. MARCO LEGAL

Las actividades relacionadas con las obras civiles, infraestructura pública y el tránsito están reguladas por el ordenamiento jurídico colombiano, por ende, se tendrán en cuenta los lineamientos contenidos en las siguientes disposiciones:

- ❖ Ley 769 de 2002 (Código Nacional de Tránsito).
- ❖ Ley 1383 de 2010 (Reforma del Código Nacional de Tránsito)
- ❖ Decreto 190 del 2004 (Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.)
- ❖ Decreto 319 de 2006 (Plan Maestro de Movilidad para Bogotá)
- ❖ Acuerdo 645 de 2016 (Plan de desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas para Bogotá).
- ❖ Resolución 171 de 2003 y Resolución 463 de 1999 (Manual para el manejo del tránsito por obras civiles en zonas urbanas de la SDM)
- ❖ Manual de Identidad Visual de las Obras del IDU.

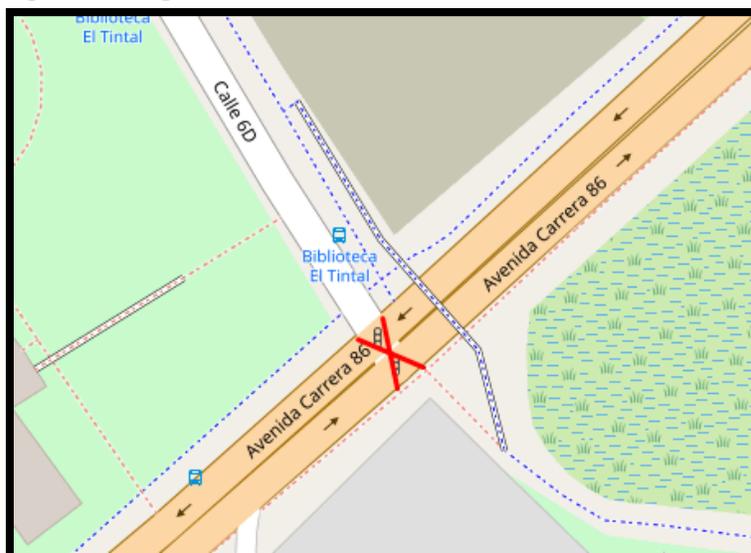
- ❖ Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte de Bogotá de la STT del 2005.
- ❖ Manual de señalización vial (Ministerio de transporte 2015)
- ❖ NTC 4143 y NTC 4774 (Accesibilidad de las personas al medio físico)
- ❖ Decreto 219 de 2016 (Cartilla de andenes)
- ❖ Concepto Técnico # 16 de la Secretaría Distrital de Movilidad – Procedimiento para gestionar los Planes de Manejo de Tránsito.

ESTUDIO DE TRANSITO

5.1. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para la presente investigación se seleccionó la intersección de la Av. Ciudad de Cali con la Calle 6D; esta intersección es tipo “T” y permite que la vía secundaria (Calle 6D) “desemboque en la vía principal (Av. Ciudad de Cali), no existe continuidad de la Calle 6D por lo que todo el flujo vehicular de esta debe ser absorbido, por la troncal más aun cuando no hay posibilidad directa de retorno. Ver Figura 1

Figura 1. Esquema de la intersección Av. Ciudad de Cali – Calle 6D

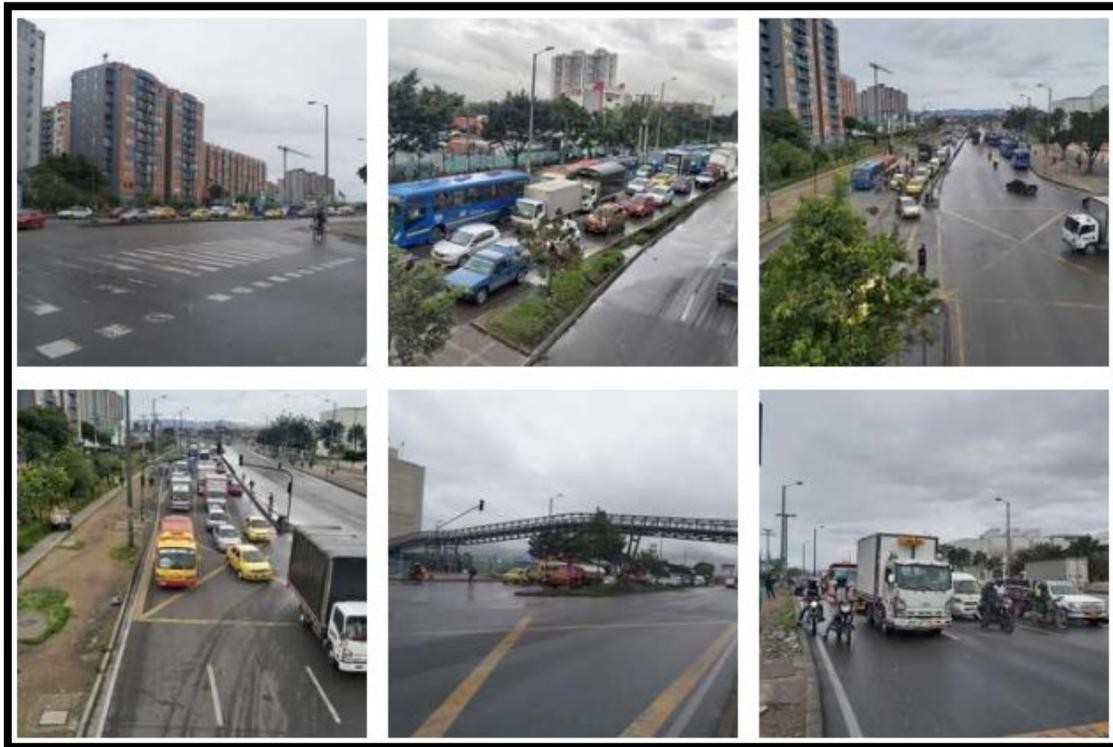




Fuente: <https://openstreetmap.org/#map=18/4.64315/-74.15346>

Esta intersección tiene una morfología muy particular, el cruce peatonal sobre la Av. Ciudad de Cali, se realiza por medio de un puente peatonal que cuyos accesos están alejados de la Av. Ciudad de Cali por más de 100 mts.; para el cruce peatonal sobre la Calle 6D en sentido Norte – Sur, existe uno regulado por semáforo y debidamente limitado, en el otro costado (Sur – Norte) la acera es continua y no se requiere. Ahora bien en esta intersección la Av. Ciudad de Cali reduce el separador y genera un 4 carril de giro exclusivo con una longitud de 120 mts, medida insuficiente ya que en habitualmente se usan hasta 3 carriles para hacer dicho giro, la falta de cultura y la cantidad de conflictos vehiculares que se generan terminan por reducir el flujo vehicular efectivo y la velocidad promedio en este punto.

Figura 2. Registro Fotográfico de la intersección



Fuente: Autores, 2020; Elaboración Propia

5.2. CARACTERIZACION DE LA MOVILIDAD

5.2.1. Observación de campo

Esta intersección se constituye como una de las dos únicas vías de acceso a la zona del tinto donde el 98% de los habitantes residen en conjuntos de apartamentos, lo que la posiciona como una de las de mayor densidad poblacional de la ciudad, adicionalmente en el sector existen múltiples parqueaderos para camiones y vehículos pesados de la ciudad y flotas de transporte intermunicipal, generando un alto tráfico de los mismos, a lo largo del día y especial en horas de la madrugada y en las horas de la noche.

En este punto de la ciudad se adecuó recientemente la Calle 6D como vía secundaria de doble calzada con dos carriles por sentido, el flujo es controlado semafóricamente para permitir el giro a la izquierda para tomar la Av. Ciudad de Cali en sentido sur norte o giro a la derecha para ubicarse en sentido norte sur el retorno (Giro en U) no está permitido; en las horas de la mañana (06:00Am – 09:00) se concentra el mayor flujo por la salida de los habitantes a sus labores cotidianas. Sobre la Av. Ciudad de Cali el tráfico peatonal está acondicionado mediante un puente peatonal sobre el costado norte de la intersección, en el costado sur no está permitido el paso peatonal, en parte por el giro a la izquierda que se permite para acceder a la Calle 6D. Para este giro la Av. Ciudad de Cali genera un carril exclusivo de giro reduciendo el separador al máximo con una extensión de 120 metros, no existe señalización o demarcación alguna y el estado de la vía es apenas aceptable, favorece la amplitud de la vía, pero hace falta la marcación de los carriles. Observando el tráfico se detalla que la congestión vehicular se da principalmente por el desbordamiento de la capacidad del giro en cada sentido, primordialmente en la Av. Ciudad de Cali, si bien sobre la vía se dispone de un carril exclusivo de giro este se ve rápidamente desbordado y la falta de cultura ciudadana y control de tráfico permiten que constantemente los vehículos comiencen a utilizar los otros carriles para realizar el giro, esta simple acción reduce la velocidad de la Av. Ciudad de Cali y empeora cuando los vehículos no alcanzan a completar el giro en el ciclo del semáforo quedando en la mitad de la intersección, un mal hábito de los conductores evita que esperen a que la intersección se esté libre, sino que por el contrario avanzan generando complejos conflictos vehiculares, que en ocasiones terminan en choques simples,

Resulta evidente que la falta de cultura termina por generar un círculo vicioso en el que movilidad se ve fuertemente impactada, ya sea por la materialización de un choque, o la constante invasión de la intersección pero en definitiva la velocidad promedio disminuye radicalmente, la densidad de vehículos se acrecienta y los niveles de servicios de esta vías caen a mínimos; es cierto que el carril de giro exclusivo es insuficiente, o que plan semafórico no es el adecuado, incluso que el control de tráfico es esporádico e ineficaz pero el detonante es la falta de cultura ciudadana. Si bien se reconocen otras variables que afectan el tráfico en este punto, el comportamiento humano juega un rol fundamental y decisivo dado que sin una mejoría en la conducta vial de los capitalinos cualquier medida que se adopte resultara infructuosa, por ende, las soluciones deberán estar acompañadas de políticas en ese sentido.

5.2.2. Estacionalidad del flujo vehicular

Es normal que los flujos de tránsito tengan un comportamiento diferente según el día o incluso en algunos meses a lo largo del año; en la intersección seleccionada aquellas diferenciaciones se exhiben en las horas de la mañana, adicional con un aumento en el total de tráfico por el comienzo de labores y nuevamente en la noche, se identifica un aumento para el retorno o vuelta a los puntos de inicio de los viajes. Dichos aumentos suelen presentar una tardanza del orden de 1,5 y 2 horas, salvo que se presenten condiciones externas como lo son manifestaciones sociales, accidentes de tránsito o

vehículo con fallas mecánicas (varados) los cuales según el lugar de ocurrencia impactan severamente la movilidad, más aún por limitadas opciones que tienen los habitantes de este sector en términos de alternativas de movilidad.

La alcaldía de Bogotá ha realizado unos estudios los cuáles determinan cuales son los días de una semana que obtienen los volúmenes estándares de tráfico; determinando que, en vías primarias, como lo es la Av. Ciudad de Cali, de lunes a viernes, los volúmenes resultan muy estables; señala la misma fuente que, en las zonas de estudio para una ciudad, la desviación de los volúmenes de tráfico al día no son muy significativos entre toda la semana, esto significa que, están bien distribuidos en los días de estudio y laborales. No obstante, los que más presentan volúmenes promedio es el día viernes, que por motivos adicionales se suman la recreación. Para la variación mensual del volumen de tránsito, hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los altos flujos se presentan en festividades comunes del año (C&M, 2005).

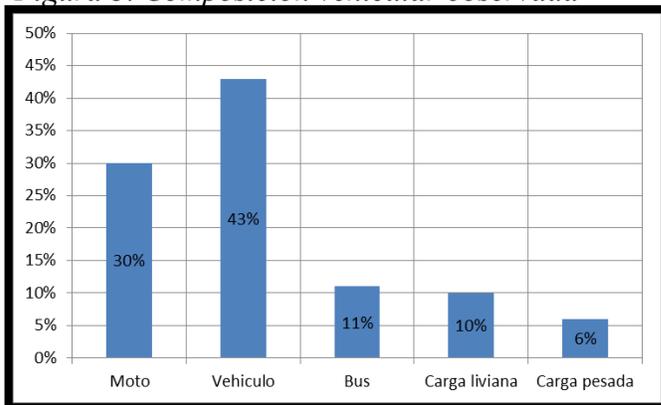
Atendiendo los preliminares argumentos este estudio considerara que el flujo vehicular en la intersección seleccionada es equiparable según los días laborables y no laborables, con picos de alta demanda en las horas de la mañana (Puntualmente 6:00 – 9:00 AM) y con máximo al iniciar la noche (Específicamente 5:30 – 10:00 PM) con un leve descenso en el intermedio de estos espacios (Hora valle). Tomando en consideración la estacionalidad percibida para la intersección el aforo vehicular se realizó tomando

grabaciones de 2.5 horas durante los 7 días de una semana para de este modo abarcar 17 horas continuas de toma de datos uniformemente distribuidas en los días de la semana.

5.2.3. Composición vehicular

El desarrollo social que tiene lugar alrededor de la intersección es multifacético y variado, predominan los conjuntos residenciales y los garajes e instalaciones para transporte de carga, generando una variedad de actores viales en donde se cuenta todos los posibles en el estudio del tránsito; del aforo realizado se logra extraer un aproximado de la composición vehicular que transita por esta zona

Figura 3. Composición vehicular observada



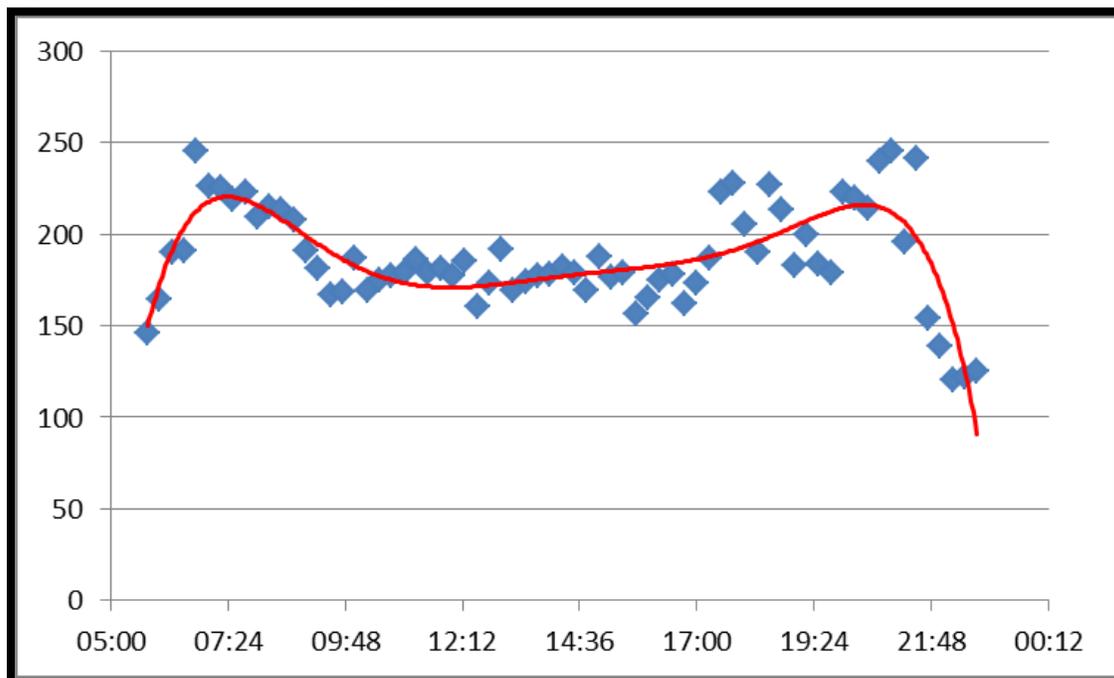
Fuente: Autores, 2020; Elaboración Propia

5.2.4. Periodización

El flujo vehicular que hace uso de la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Calle 6D, cumple con unos ciclos fácilmente reconocibles, basados en las observaciones requeridas para la realización del aforo vehicular, se identificó que la intersección tiene dos periodos de alta demanda o horas de congestión (Horas pico) en los intervalos de 6:30 a 8:00 de la mañana y de 6:00 a 09:00 de la noche. Estos periodos de alta demanda se mantienen

constantes a lo largo de los días laborables de la semana y para los fines de semana, se observa que los cambios se producen en la intensidad del congestionamiento en la hora valle que hay entre los dos periodos, es decir que el flujo vehicular tiene a ser constante con valores cercanos al máximo registrado.

Figura 4. Periodización del flujo vehicular diario



Fuente: Autores, 2020; Elaboración Propia

Para los sentidos de las vías se mantiene la misma lógica, pues según el periodo se congestiona un sentido y en el otro el opuesto, no se observan diferencias significativas.

5.2.5. Aforo vehicular.

Para la captura de datos requerida para el aforo vehicular se obtuvieron grabaciones por espacio de 2.5 horas, durante una semana completa, las cuales después fueron analizadas

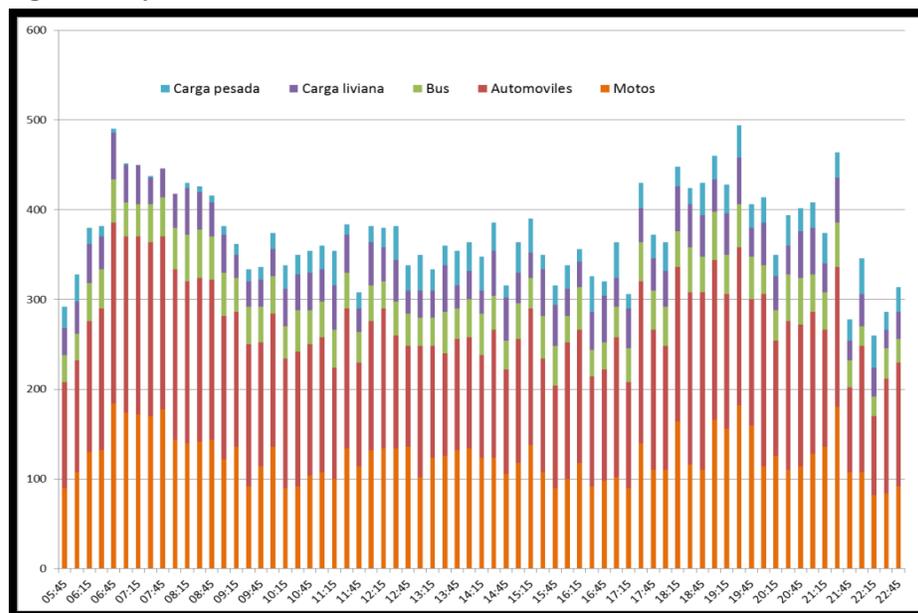
para efectuar el conteo y la clasificación de actores viales y su comportamiento dentro de la intersección, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1. Rango horario aforado por día

Día	Rango	
	Inicio	Fin
Lunes	05:30	08:00
Martes	08:00	10:30
Miércoles	10:30	13:00
Jueves	13:00	15:15
Viernes	15:15	17:45
Sábado	17:45	20:15
Domingo	20:15	22:45

Fuente: Autores, 2020; Elaboración Propia

Figura 5. Aforo vehicular Av. Ciudad de Cali con Calle 6D.



Fuente: Autores, 2020; Elaboración Propia

De acuerdo con los datos obtenidos se observa una periodicidad y estacionalidad

formadas por dos picos de alta demanda, pero en términos generales obtenemos lo

siguiente:

El flujo de la Av. Ciudad de Cali tiene su máximo en el horario de 7:15 PM – 7:30 PM alcanzando un máximo de 494 vehículos, con base en esto se estima que el máximo de flujo a nivel horario (q_{max}) será este valor ajustado a una hora para expresarlo en términos generales de *Veh/Hor*, lo que da como resultado 1976 *Veh/Hor*, con este valor se determinaran las demás variables a las que haya lugar.

$$Tasa\ de\ flujo\ maximo = q_{max} = q_{15} * 4 = 494 * 4 = 1976$$

Del mismo modo tenemos que el volumen horario de máxima demanda (VHMD) se da para la franja horaria de 6: 30 PM – 7:30 PM con valores de 490,452, 450 y 438 vehículos respectivamente (Ver ANEXO A – DATOS AFORO Av. Ciudad de Cali, de ahí que $VHDM = 1830$).

Con los anteriores valores no es posible calcular el Factor de Hora Pico (FHP), el cual es definido como la representación de la variación en la circulación dentro de una hora, y es entendido como las relaciones entre el FHP y el VHDM (Mozo Sanchez, 2012)

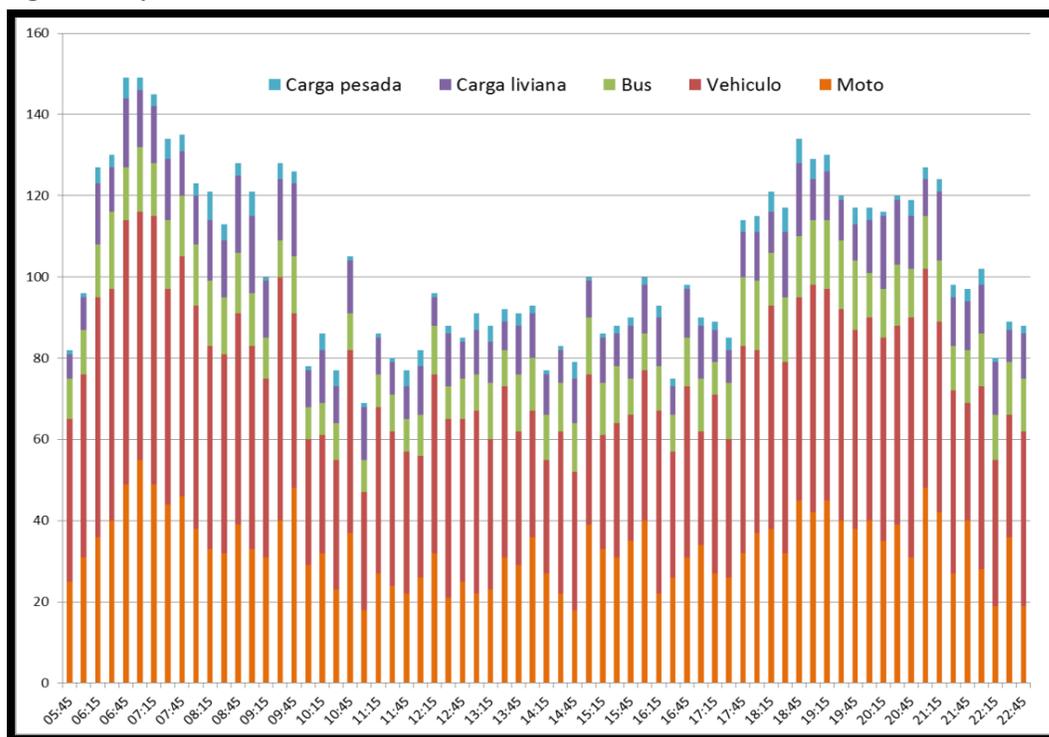
$$FHP = \frac{VHDM}{q_{max} * N} = \frac{1830}{1976} = 0.92$$

Durante el aforo también se realizó la valoración cualitativa del nivel de servicio, la cual para el caso de la Av. Ciudad de Cali, fluctúa entre E Y F, sosteniendo un nivel de F

durante las horas de máxima demanda ya que se observa un tráfico de flujo forzado, el volumen de la vía sobrepasa su diseño, adicionalmente la independencia de manejar es sumamente complicado, los escenarios de seguridad y comodidad son relativamente bajas y se muestran continuamente desbordados por la alto flujo de vehículos y a la sobreocupación del espacio de la corriente en la vía, lo que ha generado el calificativo de “cuello de botella”.

La misma metodología y referentes se utilizaron para determinar las mismas magnitudes en relación a la Calle 6D, dando como resultados los siguientes;

Figura 6. Aforo vehicular Calle 6D con Av. Ciudad de Cali con.



Fuente: Autores, 2020; Elaboración Propia

El flujo de la Calle 6D tuvo dos periodos de máximo volumen de vehículos transitando en las franjas horarias de 6:30AM – 6:45 AM y 6:45 AM – 07:00 AM con 149 vehículos, para los cálculos se tomará el primer valor y se detallas así:

$$\text{Tasa de flujo maximo} = q_{max} = q_{15} * 4 = 149 * 4 = 596$$

$VHDM = 577$ la cual es de 6:30 AM a 07:30 AM

$$FHP = \frac{VHDM}{q_{max} * N} = \frac{577}{596} = 0.97$$

- Para la Calle 6D se analizó el nivel de servicio basados en la observación en campo, cuya evaluación cualitativa se determina en un nivel C, clase adentro del cual le queda en evidencia el dominio de la alta densidad sobre las operaciones, la presencia de otros automóviles afecta la capacidad de respuesta dentro de la corriente de tráfico; se percibe como las condiciones de comodidad y seguridad disminuyen.

5.2.6. Semaforización de la intersección

Uno de los elementos de mayor influencia en el comportamiento de la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Calle 6 D, es el control del flujo vehicular que se efectúa mediante señales semafóricas de tránsito. En esta intersección existen cuatro semáforos ubicados, sobre la Av. Ciudad de Cali sentido N-S que permite el paso en dicho sentido, por no haber restricción se asume que el giro a la derecha para tomar la Calle 6D está

permitido durante el verde de este semáforo. Sobre la Av. Ciudad de Cali sentido S-N existen dos uno para habilitar el giro para tomar la Calle 6D y otro que permite el flujo sentido sur norte sobre la vía y por ultimo uno sobre la calle 6D que habilita los giros para tomar la Av. Ciudad de Cali en cualquier sentido

Figura 7. Plano semafórico de la intersección



Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.

El ciclo de avances y detenciones dura 2 minutos, durante los cuales las señales semafóricas dan alternancia a cada uno de los carriles involucrados, para los giros se dan 30 segundos de verde efectivo, la Av. Ciudad de Cali sentido-S tiene 1 min de verde efectivo y en sentido S-N 1:30 segundos. Este se puede observar con mayor detalle en el plano semafórico de la intersección. Ver Figura 7

5.2.7. Calidad de la progresión - Coeficiente de grupo

El coeficiente de grupo describe la calidad de la progresión de la señalización para el correspondiente grupo de movimiento; El HCM sugiere que el tipo de llegada es mejor observada en campo, y debería ser determinado lo más exactamente posible la siguiente relación (Jerez Hernandez & Morales Santos, 2015):

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{C}}$$

Dónde:

R_p = Coeficiente de grupo

P = Cantidad de vehiculos que pasan en el cruce en de una face en verde ($P \leq 1$)

g = Tiempo de verde efectivo del movimiento o grupo de carriles (s).

C = Longitud del ciclo (s).

La anterior expresión matemática nos permite hallar la calidad de la progresión para cada fase de la intersección:

Av. Ciudad de Cali sentido N-S

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{C}} = \frac{0.4}{\frac{60}{120}} = 0.8$$

Av. Ciudad de Cali sentido S-N

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{C}} = \frac{0.3}{\frac{90}{120}} = 0.4$$

Av. Ciudad de Cali sentido S-N giro

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{C}} = \frac{0.2}{\frac{30}{120}} = 0.8$$

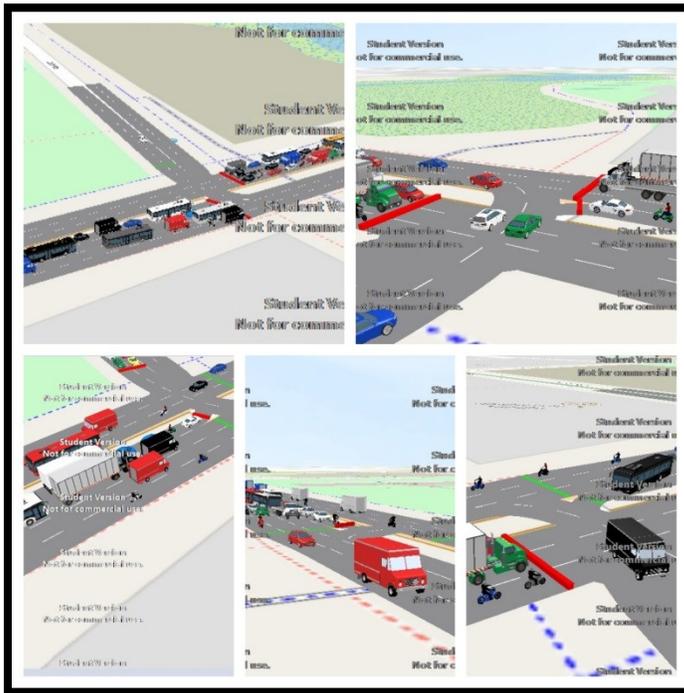
Calle 6D giro Av. Ciudad de Cali S-N

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{C}} = \frac{0.3}{\frac{30}{120}} = 1.2$$

5.2.8. Simulación del estado actual

El trabajo de campo realizado, junto con los datos de las magnitudes calculadas en base al aforo, permiten parametrizar de forma correcta una simulación del estado actual de la intersección seleccionada, esta simulación se hizo en el software de simulación de tráfico PTV Vissim observando la misma dinámica detectada en campo y durante el aforo, a continuación, se muestran algunas imágenes de la simulación:

Figura 8. Simulación de las condiciones actuales de la intersección



Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.

La simulación permite comprobar las observaciones bajo dos factores de congestión plenamente identificados:

- Insuficiencia de la capacidad de giro: el diseño geométrico implementado para la intersección resulta insuficiente para el flujo de vehículos que realizan esta maniobra, los más de 120 metros de carril exclusivo de giro y los 30 segundos de luz verde efectiva favorecen la creación de una cola de espera con un crecimiento constante.
- El factor humano: Las deficiencias en la capacidad de giro de la intersección son maximizadas por la constante generación de conflictos vehiculares asociados a las malas prácticas e inexperiencia del factor humano. Como lo señala Torres Flores

En factor humano dada por el conductor es decisivo para a toma de decisiones en corto tiempo, dada la experiencia y capacidad para recolectar información crucial para aplicar maniobras que le permitan sobrepasar dichas dificultades, es de ahí la importancia y a su vez la vulnerabilidad en el tránsito de este factor (Torres Flores, 2012). En el presente caso las reacciones y decisiones frente al desbordamiento de la capacidad de giro son traducidas por la mayoría de los conductores en la generación de más carriles giro (hasta 3) impidiendo el flujo de aquellos que van en sentido sur norte exclusivamente y la proliferación de conflictos vehiculares.

6. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

La caracterización del estado actual de la intersección, ha evidenciado como el la capacidad de la vía para realizar el giro requerido para tomar la Calle 6D desde el sentido Sur-Norte de la Av. Ciudad de Cali resulta insuficiente, si bien la vía genera un carril exclusivo para el giro este se ve rápidamente desbordado por el flujo de vehículos que requieren ejecutar esta maniobra; una vez, más del 25% de los conductores toman esta decisión se empieza a generar un segundo carril, una práctica común en nuestra sociedad y altamente indeseable por la falta de cultura que demuestra y por el potencial aumento de riesgo para la materialización de choques e incidencias en la vía. Resulta evidente que el colapso de la movilidad surge cuando la regla del carril exclusivo se rompe y los conductores realizan el giro desde otros carriles de la Av. Ciudad de Cali, o esperan en estos la oportunidad de girar.

De ahí que las alternativas de solución tengan como objetivo optimizar esta alternativa en el tráfico, y es en este sentido que se formulan, la mejora de la movilidad en esta intersección obligatoriamente debe apuntar a permitir esta maniobra en la vía de una forma más eficiente, garantizando que el flujo sobre las demás calzadas no pueda ser interrumpido o se mitigue el impacto que se genera sobre los mismos. Si bien las alternativas muestran un esbozo, o concepto claro de la forma como se debe transformar la morfología de las vías en esta intersección, su diseño geométrico detallado deberá analizarse con mayor profundidad en el caso de pretender la implementación de la misma sobre la vía.

La generación de alternativas de solución para problemas de tránsito no es un proceso subjetivo, en diversos estudios se afirma que los criterios a considerar en el planteamiento de entrecruzamientos a desnivel, tienen que velar por la reducción o disminución de los conflictos entre automóviles, y los otros actores viales mediante diferentes configuraciones, que son relativos y dependen de elementos como la cultura, el costo, la topografía, pero en especial de la operación de tránsito deseado (Cifuentes Aguirre & Paz Marin, 2017). Para el planteamiento de las alternativas de solución de la presente investigación se atenderán los parámetros desarrollados por las instituciones internacionales y locales a saber:

Parámetros de diseño en intersecciones a desnivel AASHTO

Como referente internacional la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (Siglas en inglés, AASHTO) promueva que se consideren cuando menos 4 parámetros a la hora de considerar una intersección desnivel (AASHTO, 2011):

- a) Adaptabilidad. Se debe considerar el flujo de tráfico de la vía que se entrecruzan, el estado del terreno y así establecer los lugares libres para la construcción y la morfología del área; de igual forma, como las diferentes características de las vías que se entrecruzan.
- b) Dispersiones de entrada y control en el cruce de los repartidores. Garantizar las funciones para la distribución y obtener una funcionabilidad eficiente en base a las características y necesidades de la zona, para lo cual es fundamental el control de distancias ara el ingreso del lugar, se debe evitar los entrecruzamientos cercanos a las rampas de acceso y cruces peatonales.
- c) Seguridad. El diseño geométrico seleccionado propondrá para la sección grados de variables para reducir entrecruzamientos o giros que traumatizarían la movilidad.
- d) Factores económicos. Se evaluarán en el planeamiento del cruce, como su valor inicial, de mantenimiento y/u operación vehicular.

Parámetros de diseño en intersecciones a desnivel IDU

Para el IDU se requiere aumentar la capacidad de las vías y de igual manera, la disminución de factores que se consideran peligrosos para la vida de los participantes de un cruce y adicionalmente exponer las siguientes recomendaciones (IDU, UNAL, & CAF, 2008):

- a) Reducción de áreas de conflicto: las entradas, salidas, cruces e interacciones entre actores viales; deben relacionarse con la forma adecuada y eficiente. Adicionalmente también es de considerar el diseño pertinente para la señalización garantizando los requisitos de ley.
- b) Control de la velocidad: Según los parámetros de diseño las curvas no se deben diseñar para velocidades mayores que 20 km por h.
- c) Control de puntos de giro: Se debe garantizar que no existan giros que coloquen en peligro a los usuarios y que en estos giros las condiciones de señalización sean las pertinentes y sean no solo visibles adecuadas.
- d) Creación de zonas protegidas: Proporcionar espacios de protección por medio de la implementación de bahías, o en giros que se tengan que hacerse en dos o más faces.

- e) Visibilidad: Para una buena visibilidad la velocidad de diseño es fundamental, dado que con base a que entre mayor velocidad las interrupciones físicas a las laderas de la vía deben de ser mínimas, si no, es que nulas.

- f) Claridad: la sección debe tener características cómodas de geometría vial y de seguridad para los usuarios, complementada con señalización óptima.

6.1. ALTERNATIVA 1. GIROS A DESNIVEL

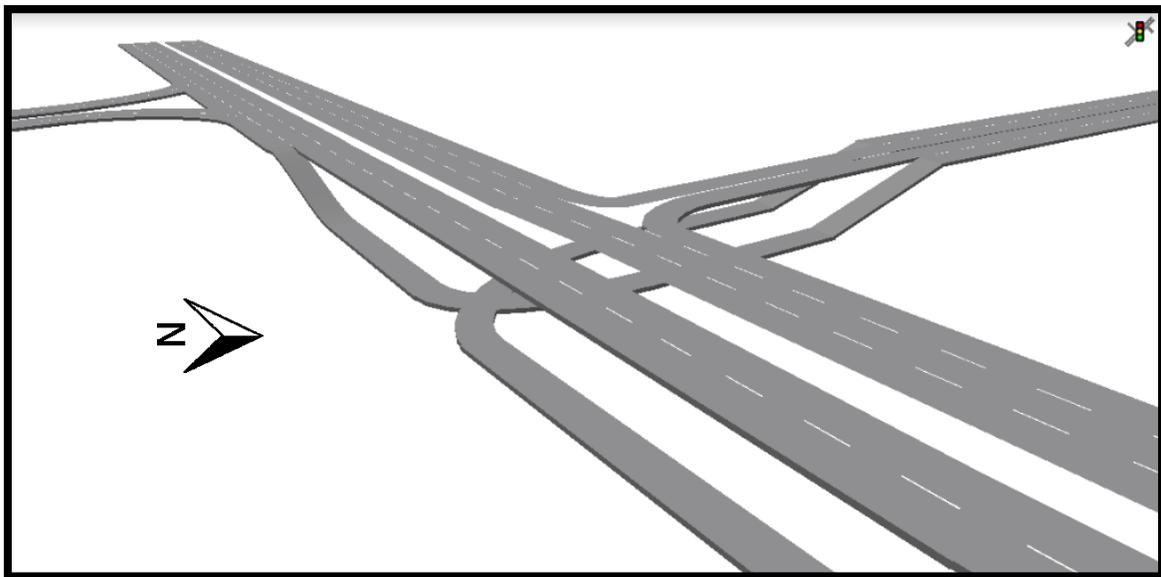
Una solución factible inicial que armonice las observaciones de campo junto con las recomendaciones del IDU y AASHTO, consiste en deprimir la calzada interior de la Av. Ciudad de Cali en sentido Sur – Norte, para que en un nivel inferior al actual generar radios de giro que terminen por conectar con el carril interior de la Calle 6D, en este nivel inferior, o desnivel, se entrecruzan los radios de giro provenientes de la Av. Ciudad de Cali para tomar la Calle 6D en sentido oriente occidente y el que sale de la Calle 6D para tomar la Av. Ciudad de Cali en sentido Sur – Norte; esta intersección estará controlada mediante señales semafóricas que den paso sincronizado a ambos flujos. En el nivel actual permanece los sentidos lineales de la Av. Ciudad de Cali, el acceso a la Calle 6D en sentido Norte – Sur y la conexión de la Calle 6D en el mismo sentido.

El concepto básico de esta alternativa consiste en trasladar la intersección, propiamente dicha, a un nivel inferior controlada semafóricamente; lo que aumentaría el tiempo efectivo de avance (Verde Efectivo) y mitigaría los conflictos vehiculares causados por

multiplicidad de carriles para efectuar giros, así mismo la Av. Ciudad de Cali eliminaría los semáforos en sus sentidos lineales. Ver

Figura 9

Figura 9. Alternativa 1 – Detalle de giros a desnivel -1

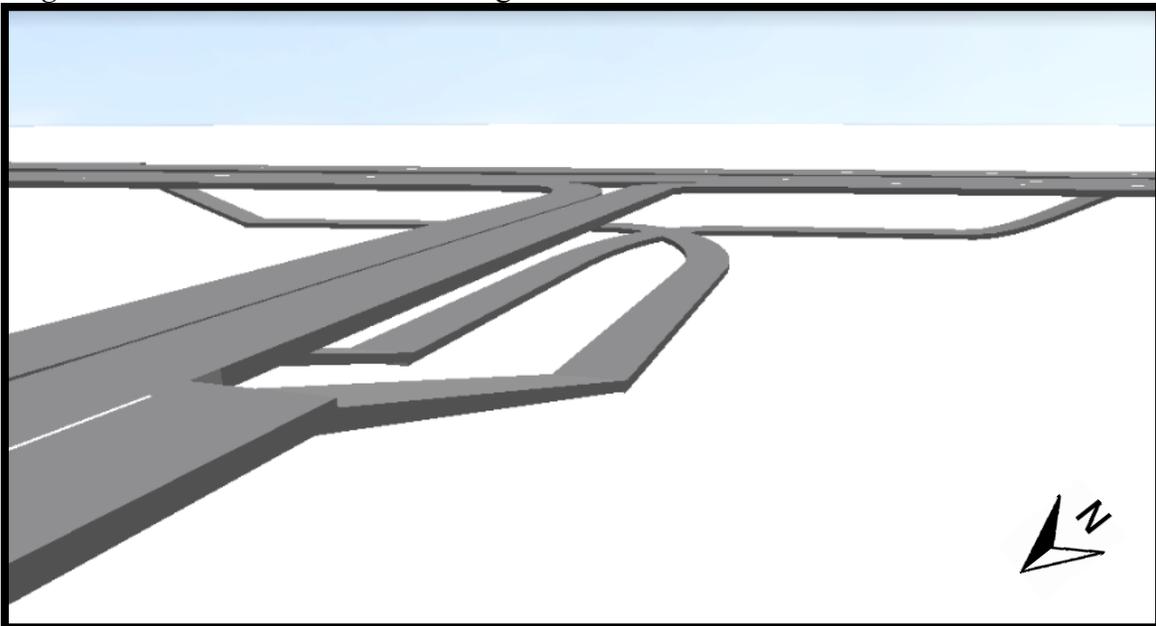


Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.

La eliminación de la restricción semaforica tiene un alto impacto en un segmento importante de la Av. Ciudad de Cali, la continuidad en el flujo de vehiculos que transita por este corredor vial conlleva, necesariamente, a un aumento de la velocidad promedio del corredor vial en puntos cercanos a esta intersección, en este mismo sentido se van a ver favorecidas variables como la densidad y el nivel de servicio. Deprimir los carriles de giro exclusivo aumenta el área disponible para las colas de espera. Ver

Figura 10

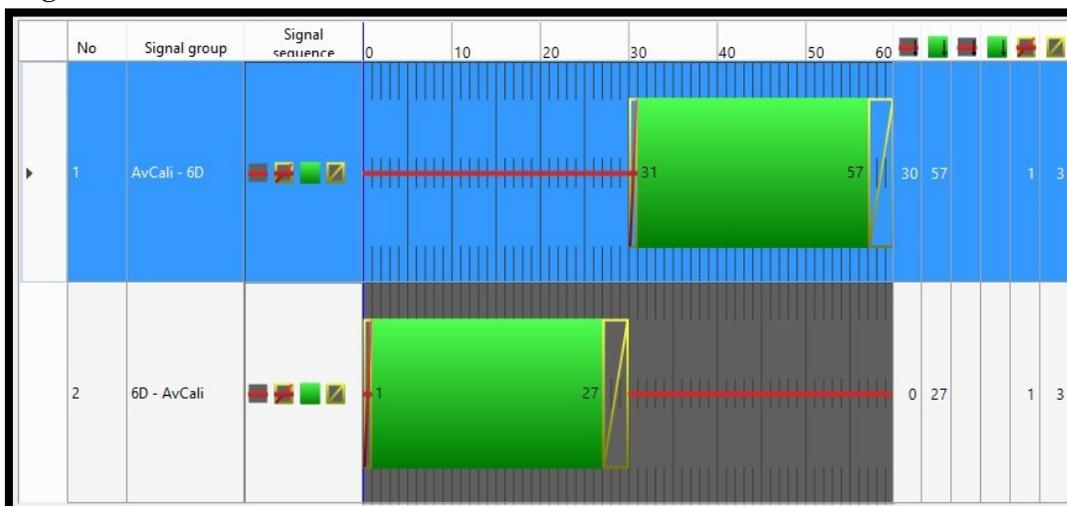
Figura 10. Alternativa 1 – Detalle de giros a desnivel - 2



Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.

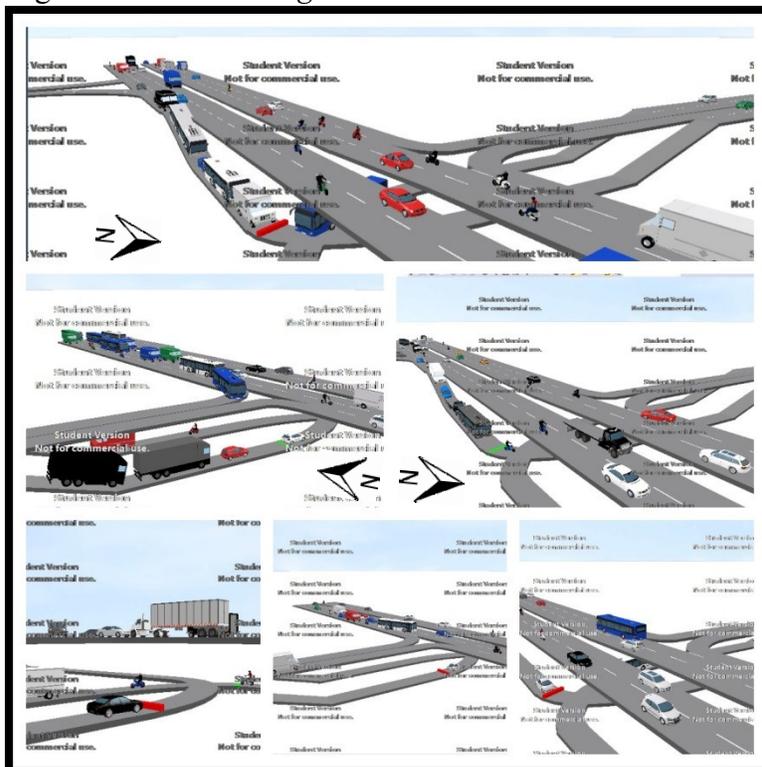
Para la simulación de esta alternativa se parametrizo un ciclo semafórico con una longitud de 60 segundos, en donde cada fase cuenta con tiempos equivalentes de 30 segundos. Ver Figura 11

Figura 11. Plano semafórico alternativa 1



Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.
 Utilizando el ciclo semafórico presentado anteriormente y parametrizando la misma composición vehicular, junto con las demandas máximas resultantes del aforo, así como las demás variables identificadas, la simulación de esta alternativa, mitiga considerablemente los defectos de la situación actual; las colas permanecen constantes al inicio de la rampa de acceso al deprimido y no se evidencian conflictos vehiculares relevantes. Con este diseño geométrico la Av. Ciudad de Cali mantiene el flujo vehicular sin mayores interrupciones en sus carriles central y exterior, mientras que el giro para tomar la Calle 6D mantiene un comportamiento constante sin colapso; así mismo desde la Calle 6D no se observa congestión en el giro habilitado para desembocar en la Av. Ciudad de Cali sentido S-N. Ver Figura 12

Figura 12. Simulación giros a desnivel





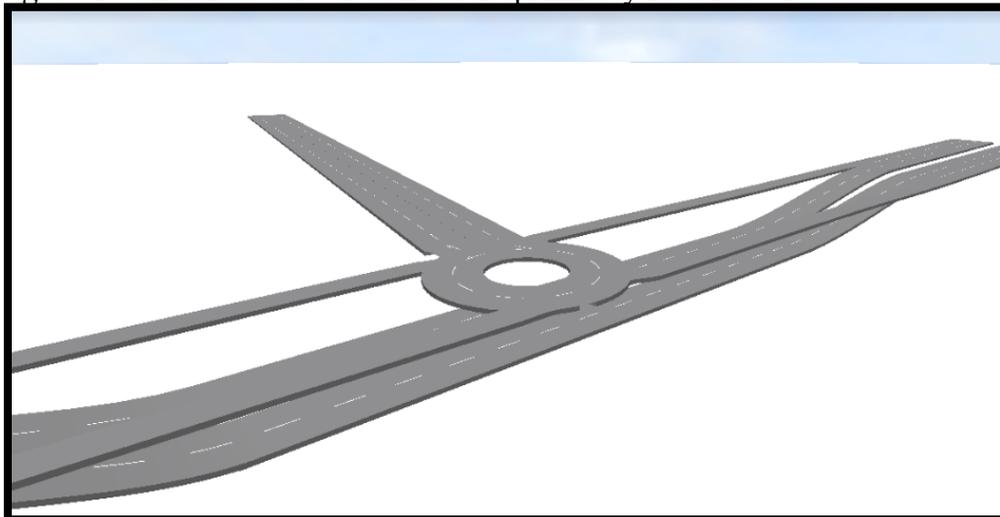
Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.

6.2. ALTERNATIVA 2. CARRILES DEPRIMIDOS Y ROTONDA

Una premisa básica de la optimización de los flujos vehiculares, incluyendo la intersección del presente estudio, es la reducción de controles que impliquen demoras, como lo son los semáforos; atendiendo esto otra alternativa de solución está orientada a eliminar todas las fases semaforicas requeridas para la intersección, obviamente garantizando la seguridad e idoneidad de la nueva morfología de la estructura vial.

Siendo así, se propone generar un desnivel del carril central y exterior de la Av. Ciudad de Cali en ambos sentidos, proporcionando continuidad al flujo vehicular de este corredor vial; al tiempo que el carril interno permanece a nivel para integrar una glorieta donde desembocara la Calle 6D, de tal forma que todas las posibles alternativas de movilidad están cubiertas, y modeladas por el diseño geométrico sin la necesidad de utilizar semaforización, Ver Figura 13

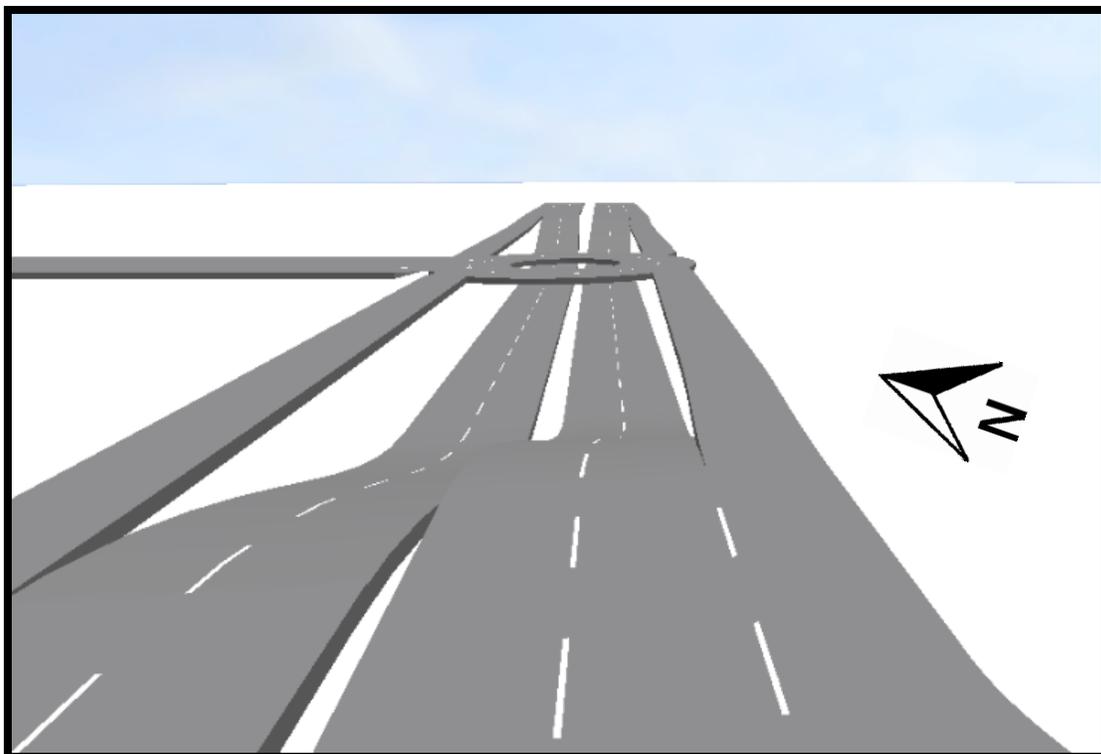
Figura 13. Alternativa 2 – Detalle de Deprimido y Rotonda - 1





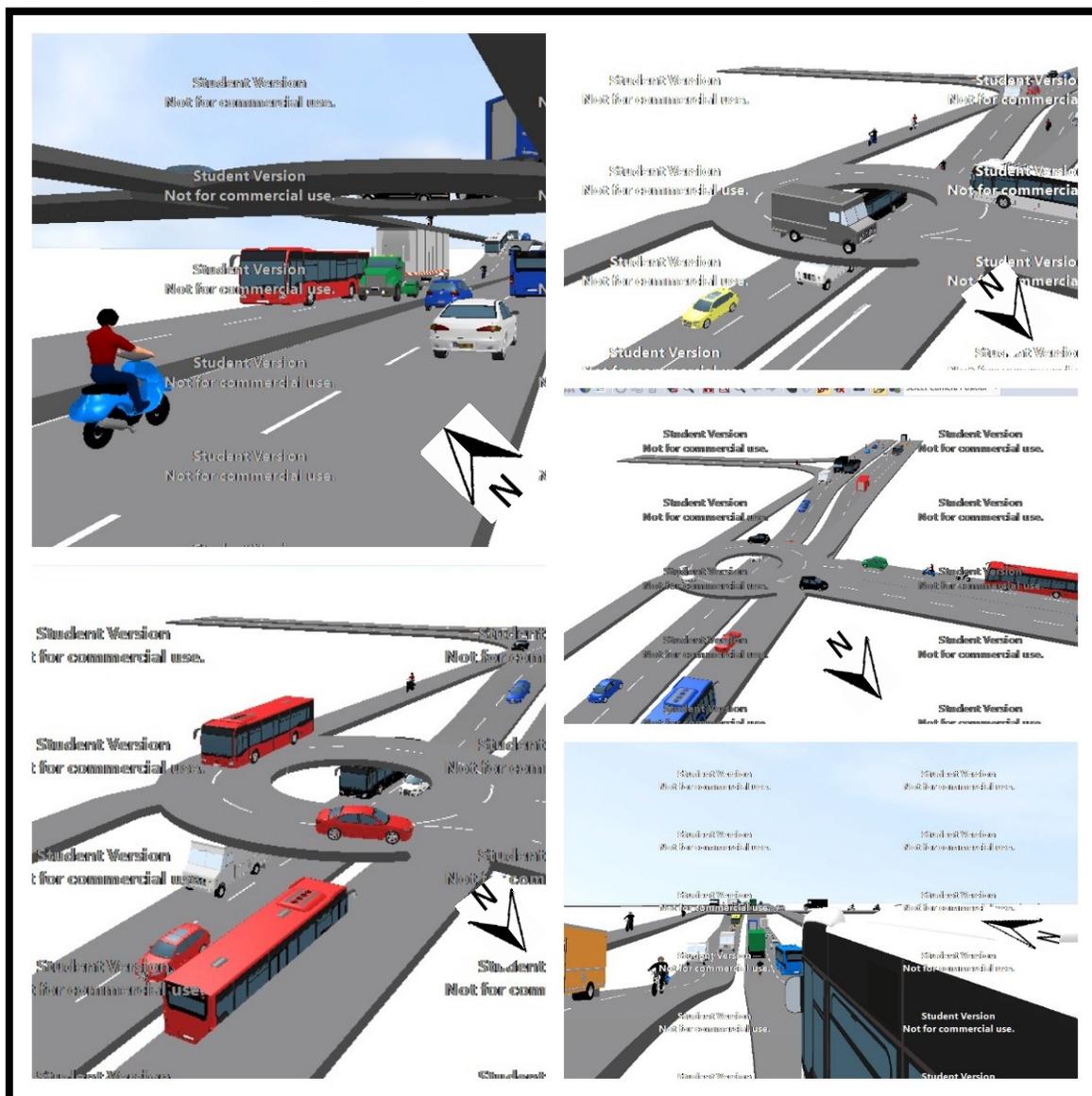
Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.
Integrar una rotonda en la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Calle 6D permite continuidad en el flujo de vehículos que transitan por este punto de la ciudad; considerando que las intersecciones que se dan por medios de los giros permitidos son utilizadas principalmente por vehículos livianos y motocicletas mitiga ampliamente los impactos generados por el tráfico pesado. Una ventaja adicional de este tipo de diseño geométrico es que habilita el cambio de sentido sobre ambos corredores viales, alternativa que con la configuración actual no estaba permitida; este aspecto se puede considerar en otro aspecto de favorecimiento a la movilidad de los corredores viales ya que evita maniobras peligrosas por parte de los conductores que por falta de cultura realizan retornos por espacios no habilitados. Ver Figura 14

Figura 14. Alternativa 2 – Detalle de Deprimido y Rotonda - 2



Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.
 Este diseño geométrico integra las ventajas del desnivel con la practicidad de una rotonda, maximizando los beneficios potenciales, mitigando al máximo las causas detectadas en el estado actual y sus resultados son superlativos en términos de reducción de la congestión y mejoramiento de la movilidad en todo sentido. Ver figura 15

Figura 15. Simulación Deprimido y Rotonda



Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia en software Vissim V13.

6.3. EVALUACION Y SELECCION

Los diseños geométricos resultantes de las dos alternativas cumplen con los requerimientos de funcionalidad y coherencia, respecto a la situación observada en campo; ahora bien, la factibilidad de los mismos exige una evaluación de los principales aspectos a considerar en una eventual implementación. De las simulaciones realizadas se logró un nivel de abstracción bastante cercano a la realidad, las simulaciones no registran errores en los actores viales, lo que permite homologar las conclusiones que se identifican como si fuesen observadas en la realidad.

Bajo estas condiciones los factores bajo los cuales se pueden comparar los resultados de las alternativas de solución estarán dados por: Nivel de servicio, Calidad de progresión, Velocidad promedio en Hora Pico, Numero de fases de semaforización, Probabilidad de Conflictos y el Costo de la obra; la comparación se presenta en la Tabla 2, los resultados de la simulación se sintetizan en esta tabla para facilitar su comprensión.

Tabla 2. Elementos de comparación entre alternativas solución

Variable	Estado Actual		Alternativa 1		Alternativa 2	
	Av. Cali	Calle 6D	Av. Cali	Calle 6D	Av. Cali	Calle 6D
Nivel de servicio	F	C	D	C	C	B
Calidad de la progresión	2	3	3	4	4	5
Velocidad promedio HP	15 K/H	22 K/H	25 K/H	30 K/H	30 K/ H	50 K/H
Fases semaforización	4		2		0	

Probabilidad Conflictos	Alta	Moderada	Media
Costo Obra	N/A	Media	Alta

Fuente: Autores, 2020; Elaboración: Propia

Como se observa en la Tabla 2, la alternativa de desnivel y rotonda tiene una serie de externalidades positivas que la posicionan como una solución con amplio potencial para atender la problemática detectada; la disminución de la congestión, el favorecimiento de los cruces entre calles y la mitigación de conflictos vehiculares son evidentes y con el modelamiento y simulación del escenario muestran mejoría en todas las variables analizadas. De tal forma que esta alternativa deberá evaluarse a profundidad detallando aún más el diseño geométrico propuesto en este estudio dado que los resultados obtenidos no son per se una prueba infalible de su factibilidad.

CONCLUSIONES

La intersección de la Av. Ciudad de Cali con Calle 6D presenta una dinámica compleja caracterizada por la congestión y el desbordamiento del carril exclusivo de giro ubicado sobre la troncal para tomar la Calle 6D en sentido oriente – occidente; una vez se alcanza una tasa de giro superior al 25% del flujo vehicular se generan una serie de “hábitos” que son respuestas que el factor humano le da a los conflictos vehiculares, todo esto hace de este punto una intersección “caótica” que termina por desmejorar ostensiblemente la calidad de vida de todos aquellos que deben transitar por este punto de manera, casi, obligatoria, dadas las escasas alternativas de movilidad que tiene la infraestructura vial de este sector .

Las intersecciones a desnivel, aunque no son nada nuevo, son una alternativa altamente efectiva para atender dinámicas de movilidad como las que presenta la ciudad de Bogotá; pero estas solo han estado siendo incorporadas en algunos de los últimos proyectos generando cuestionamientos sobre las Políticas Públicas que han determinado la forma y los conceptos presentes en la planeación de una ciudad capital, se puede inferir que las cuestiones técnicas relativas a la evolución de la infraestructura vial han sido politizadas

y los resultados no corresponden a las necesidades de la ciudad evidenciando un rezago frente a otras ciudades.

Reducir las fases semafóricas en un punto o trayecto vial permite que las variables críticas de decisión se acerque a los valores máximos den términos de nivel de servicios, calidad y efectividad en la movilidad; ahora bien, si estos beneficios se adicionan a técnicas constructivas como los pasos a desnivel y/o las rotondas se obtienen desarrollos urbanísticos sostenibles, eficientes y de amplio beneficio para la comunidad.

RECOMENDACIONES

Toda alternativa de solución a las problemáticas de la infraestructura vial deben ir acompañadas de una serie de políticas y lineamientos administrativos que impulsen cambios conceptuales y conductuales en los actores viales; es imperativo que a la par que se interviene la infraestructura física se actúe sobre el factor humano para corregir una serie de conductas, que por años, han caracterizado a los conductores capitalinos con negativas tendencias, proclives a la accidentalidad, decisivos en los conflictos vehiculares e incluso con un comportamiento que raya en lo violento.

Si bien, las consideraciones respecto al crecimiento vehicular de la ciudad y de la población (en términos de densidad), son un punto específico en las metodologías que abordan los estudios de tránsito se deben ponderar y concientizar sobre el factor fundamental que conllevan; de la precisión y exactitud de estas consideraciones dependen gran medida la fiabilidad y veracidad de los estudios realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2011). *A policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D. C: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2011). *A policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C.: AASHTO.
- Almanza Rodriguez, A., & Mora Contreras, J. (2015). *Estudio y Diseño del Paso a Desnivel entre la Intersección de la Av. Circunvalar y la Calle 22*. Bogotá: Universidad Distrital FJC.
- Alvarez Mendez, J., & Luna Garcia, R. (2014). *Modelado de tránsito y optimización del flujo vehicular en paralelo*. Mexico D.F.: Escuela Superior de Cómputo (ESCOM).
- Alzate Botero, A., & Hurtado Quintero, D. (2007). *Análisis Y Diseño De Un Sistema De Información Inteligente Para La Planificación De Intersecciones Y Redes Coordinadas De Semáforos En La Ciudad De Manizales*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Anleu Hernández, J. (2015). *II. Estudio de tránsito del periférico, iniciando en la zona 7 y finalizando en la zona 8 de la ciudad de Quetzaltenango*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- C&M. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Cáceres Cárdenas, N., Díaz Trujillo, N., Morales Vargas, A., Cifuentes Ospina, N., & Parra Gómez, M. (2016). *Caracterización, modelación y diseño de intersecciones Revisión Literaria*. Bogotá: Universidad La Gran Colombia.
- Carrasco Avendaño, J., & Wazhima Clavijo, G. (2012). *Diseño De La Red Semafórica De La Calle Mariscal Lamar Desde La Calle Manuel Vega Hasta La Calle Tarqui*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cifuentes Aguirre, E., & Paz Marin, M. (2017). *Relación Del Diseño Geométrico Con Los Conflictos Vehiculares En Intersecciones A Desnivel Casos De Estudio Avenida Boyacá Con - Calle 80 Y Calle 116*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. (2018). *CONPES 3945*. Bogotá: DNP.
- CORASCO. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios de Tránsito*. Managua: División General de Planificación (DGP).

- De León, J., De León, D., & Esparza, M. (2015). Consideraciones, procedimientos y conceptos para la realización de un proyecto geométrico de carreteras. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 12(57), 42 - 52.
- EADIC. (20 de Marzo de 2020). *Estudio de tránsito: impactos, resultados y herramientas*. Obtenido de <https://www.eadic.com/estudio-de-transito-impactos-resultados-y-herramientas/>
- Escobar, D., Garcia, F., & Tolosa, R. (2013). *Los estudios de tránsito en el ordenamiento territorial*. Manizalez: Universidad Nacional.
- García García, A., Pérez Zuriaga, A., & Camacho Torregrosa, F. (2012). *Introducción al diseño geométrico de carreteras: concepción y planeamiento*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- García Plaza, F. (2018). *Análisis Y Mejora De Intersecciones Semaforizadas En Murcia Mediante El Control Semafórico Actuado Por Vehículos*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- GRUP., P. (2020). *PTV GROUP*. Obtenido de productos PTV VISSIM GRPUP.: <https://www.ptvgroup.com/es/>
- Herman, R., Potts, R., Montroll, E., & Rothery, R. (1959). Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following. *Operations Research*, 7(1), 86-106.
- Hernandez Leon, A., & Perez Rodriguez, J. (2019). *IV. Alternativa para mejorar el tránsito vehicular en la intersección de la autopista sur con calle 63 sur, localidad de bosa en la ciudad de Bogotá D.C*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- IDAE. (2007). *Guía metodológica para la implantación de sistemas de bicicletas públicas en España*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- IDU, UNAL, & CAF. (2008). *Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- INVIAS. (2014). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá: Ministerio de Transporte.
- ITE. (2010). *Manual of Transportation Engineering Studies*. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers.
- Jerez Hernandez, A., & Morales Santos, O. (2015). *Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azogues*. Cuenca: Universidad Politécnica salesiana.
- Llanos Rimarachín, J. (2018). *Análisis Del Nivel De Servicio De Las Intersecciones Semaforizadas Con Mayor Afluencia De La Av. Hoyos Rubio*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Mendoza Sánchez, J., Quezada Bermúdez, F., & Trejo Trejo, J. (2015). *Propuesta metodológica para justificar la construcción de intersecciones a desnivel*. Queretaro: Publicación Técnica No. 436 .
- MOPC. (2009). *Manual de Carreteras de Paraguay*. Asuncion: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Mora Castañeda, D. (2010). *Estado del arte en el análisis del comportamiento de las intersecciones viales tipo diamante*. Bucaramanga: UIS.

- Mosquera Becerra, J. (2016). El transporte en bicicleta: consolidando inequidades en las calles de Cali, Colombia. *Sociedad y economía*, No. 31, 95-120.
- Mozo Sanchez, J. (2012). *Análisis del nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas*. Mexico D.F.: UNAM.
- Pastran Rojas , A., & Girón Rodríguez, G. (2015). II. Diseño geométrico vial con pasos a desnivel de la intersección autopista sur carrera 63 Bogotá Colombia. *Boletín Semillas Ambientales Vol. 9 No. 2*, 11 - 14.
- Quintero, J. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de ingeniería de tránsito y transporte. *Revista Facultad de Ingeniería*, 20(30), 65-77.
- Ramírez Osorio, G. (2018). *Evaluación y Alternativas de Solución para el Problema de Congestión Vehicular Presente en la Glorieta de Menga, Intersección Avenida 6n con Calle 70*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Redacción Bogotá. (9 de Marzo de 2020). Calidad del aire mejoró, pero se mantiene la alerta amarilla en Bogotá. *El espectador*, pág. On line.
- SDM. (15 de Mayo de 2020). *Secretaría de Movilidad dispuso medidas para reducir congestión*. Obtenido de Movilidad Bogotá:
<https://www.movilidadbogota.gov.co/web/node/2077>
- Solano Vargas, M. (24 de Febrero de 2020). 20 kilómetros por hora, según cifras del Banco Mundial. *La República*, pág. On line.
- Torres Flores, J. (2012). *Metodología de evaluación de la seguridad vial en intersecciones basada en el análisis cuantitativo de conflictos entre vehículos*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Valencia Alaix, V. (2000). *Principios sobre Semáforos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- WBCSD. (2001). *Movilidad 2001*. Genova: World Business Council for Sustainable Development.

ANEXOS

ANEXO A – DATOS AFORO Av. Ciudad de Cali

Hora		Tipo					Total
Inicio	Fin	Moto	Vehículo	Bus	Carga liviana	Carga pesada	
05:30	05:45	90	118	30	30	24	292
05:45	06:00	108	124	30	36	30	328
06:00	06:15	130	146	42	44	18	380
06:15	06:30	132	158	44	36	12	382
06:30	06:45	184	202	48	52	4	490
06:45	07:00	174	196	38	42	2	452
07:00	07:15	172	198	36	44	0	450
07:15	07:30	170	194	42	30	2	438
07:30	07:45	178	192	44	32	0	446
07:45	08:00	144	190	46	38	0	418
08:00	08:15	140	180	52	52	6	430
08:15	08:30	142	182	54	42	6	426
08:30	08:45	144	178	48	38	8	416
08:45	09:00	122	160	48	42	10	382
09:00	09:15	136	150	38	26	12	362
09:15	09:30	92	158	42	28	14	334
09:30	09:45	114	138	40	30	14	336
09:45	10:00	136	148	42	30	18	374
10:00	10:15	90	144	36	42	26	338
10:15	10:30	92	150	46	40	22	350
10:30	10:45	104	146	38	42	24	354
10:45	11:00	108	150	40	36	26	360
11:00	11:15	100	124	42	50	38	354
11:15	11:30	134	156	40	42	12	384
11:30	11:45	114	116	34	26	18	308
11:45	12:00	132	144	40	48	18	382
12:00	12:15	134	156	30	38	22	380
12:15	12:30	134	126	38	46	38	382
12:30	12:45	136	112	36	26	28	338

Hora		Tipo					Total
Inicio	Fin	Moto	Vehículo	Bus	Carga liviana	Carga pesada	
12:45	13:00	102	146	32	30	40	350
13:00	13:15	124	124	32	30	24	334
13:15	13:30	126	114	46	52	22	360
13:30	13:45	132	124	34	26	38	354
13:45	14:00	134	124	42	32	32	364
14:00	14:15	124	114	46	26	38	348
14:15	14:30	124	142	38	50	32	386
14:30	14:45	106	116	32	48	14	316
14:45	15:00	118	138	40	34	34	364
15:00	15:15	138	152	34	28	38	390
15:15	15:30	108	126	48	52	16	350
15:30	15:45	90	114	44	46	22	316
15:45	16:00	100	152	30	30	26	338
16:00	16:15	118	148	48	28	14	356
16:15	16:30	92	122	30	42	40	326
16:30	16:45	98	124	30	52	16	320
16:45	17:00	102	156	34	32	40	364
17:00	17:15	90	118	38	44	16	306
17:15	17:30	140	180	44	38	28	430
17:30	17:45	110	156	44	36	26	372
17:45	18:00	110	138	44	40	32	364
18:00	18:15	164	172	40	50	22	448
18:15	18:30	116	192	50	48	18	424
18:30	18:45	110	198	40	46	36	430
18:45	19:00	166	178	54	36	26	460
19:00	19:15	156	150	44	46	32	428
19:15	19:30	182	176	48	52	36	494
19:30	19:45	160	140	48	32	26	406
19:45	20:00	114	192	32	48	28	414
20:00	20:15	126	128	34	38	24	350
20:15	20:30	110	166	52	32	34	394
20:30	20:45	114	158	52	52	26	402
20:45	21:00	128	158	42	52	28	408
21:00	21:15	136	130	42	32	34	374
21:15	21:30	180	156	50	50	28	464
21:30	21:45	108	94	30	22	24	278
21:45	22:00	108	140	22	36	40	346

Hora		Tipo					Total
Inicio	Fin	Moto	Vehículo	Bus	Carga liviana	Carga pesada	
22:00	22:15	82	88	22	32	36	260
22:15	22:30	84	128	34	20	20	286
22:30	22:45	92	138	26	30	28	314

ANEXO B – DATOS AFORO Calle 6D

Hora		Tipo					Total
Inicio	Fin	Moto	Vehículo	Bus	Carga liviana	Carga pesada	
05:30	05:45	25	40	10	6	1	82
05:45	06:00	31	45	11	8	1	96
06:00	06:15	36	59	13	15	4	127
06:15	06:30	40	57	19	11	3	130
06:30	06:45	49	65	13	17	5	149
06:45	07:00	55	61	16	14	3	149
07:00	07:15	49	66	13	14	3	145
07:15	07:30	44	53	17	15	5	134
07:30	07:45	46	59	15	11	4	135
07:45	08:00	38	55	15	12	3	123
08:00	08:15	33	50	16	15	7	121
08:15	08:30	32	49	14	14	4	113
08:30	08:45	39	52	15	19	3	128
08:45	09:00	33	50	13	19	6	121
09:00	09:15	31	44	10	14	1	100
09:15	09:30	40	60	9	15	4	128
09:30	09:45	48	43	14	18	3	126
09:45	10:00	29	31	8	9	1	78
10:00	10:15	32	29	8	13	4	86
10:15	10:30	23	32	9	9	4	77
10:30	10:45	37	45	9	13	1	105
10:45	11:00	18	29	8	13	1	69
11:00	11:15	27	41	8	9	1	86
11:15	11:30	24	38	9	8	1	80
11:30	11:45	22	35	8	8	4	77
11:45	12:00	26	30	10	12	4	82
12:00	12:15	32	44	12	7	1	96
12:15	12:30	21	44	8	13	2	88

Hora		Tipo					Total
Inicio	Fin	Moto	Vehículo	Bus	Carga liviana	Carga pesada	
12:30	12:45	25	40	10	9	1	85
12:45	13:00	22	45	9	11	4	91
13:00	13:15	23	37	14	10	4	88
13:15	13:30	31	42	9	7	3	92
13:30	13:45	29	33	14	12	3	91
13:45	14:00	36	31	13	11	2	93
14:00	14:15	27	28	11	10	1	77
14:15	14:30	22	40	12	8	1	83
14:30	14:45	18	34	12	11	4	79
14:45	15:00	39	37	14	9	1	100
15:00	15:15	33	28	13	11	1	86
15:15	15:30	31	33	14	8	2	88
15:30	15:45	35	31	9	13	2	90
15:45	16:00	40	37	9	12	2	100
16:00	16:15	22	45	11	12	3	93
16:15	16:30	26	31	9	7	2	75
16:30	16:45	31	42	12	12	1	98
16:45	17:00	34	28	13	13	2	90
17:00	17:15	27	44	8	8	2	89
17:15	17:30	26	34	14	8	3	85
17:30	17:45	32	51	17	11	3	114
17:45	18:00	37	45	17	12	4	115
18:00	18:15	38	55	13	10	5	121
18:15	18:30	32	47	16	16	6	117
18:30	18:45	45	50	15	18	6	134
18:45	19:00	42	56	16	10	5	129
19:00	19:15	45	52	17	12	4	130
19:15	19:30	40	52	17	10	1	120
19:30	19:45	38	49	17	9	4	117
19:45	20:00	40	50	11	13	3	117
20:00	20:15	35	50	12	18	1	116
20:15	20:30	39	49	15	16	1	120
20:30	20:45	31	59	12	13	4	119
20:45	21:00	48	54	13	9	3	127
21:00	21:15	42	47	15	17	3	124
21:15	21:30	27	45	11	12	3	98
21:30	21:45	40	29	13	12	3	97

Hora		Tipo					Total
Inicio	Fin	Moto	Vehículo	Bus	Carga liviana	Carga pesada	
21:45	22:00	28	45	13	12	4	102
22:00	22:15	19	36	11	13	1	80
22:15	22:30	36	30	13	8	2	89
22:30	22:45	19	43	13	11	2	88