

**Diseño Geométrico y Evaluación Funcional de las Intersecciones de la Vía 40 con la Calle
58 y con la Carrera 46 en la Ciudad de Barranquilla**

Johan Alexander Fritz Rojas y Jairo Andrés González Santacruz

Universidad del Cauca, Campus de Tulcán

Facultad de Ingeniería Civil

Departamento de Vías y Transporte

Popayán

2018

**Diseño Geométrico y Evaluación Funcional de las Intersecciones de la Vía 40 con la Calle
58 y con la Carrera 46 en la Ciudad de Barranquilla**

Johan Alexander Fritz Rojas y Jairo Andrés González Santacruz

**Informe final de trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería de Vías
Terrestres, modalidad profundización**

Director:

Ing. José Fernando Sánchez Ordóñez

Universidad del Cauca, Campus de Tulcán

Facultad de Ingeniería Civil

Departamento de Vías y Transporte

Popayán

2018

Nota de Aceptación

Firma de Jurado

Firma de Jurado

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo de grado a Dios y mi familia por haber estado siempre presentes brindándome su apoyo incondicional. Y agradezco a mis docentes que han ayudado a mi formación académica en especial a nuestro director de trabajo de grado que nos ha colaborado en el desarrollo del presente trabajo y a mi compañero de tesis que se ha esforzado mucho por sacar adelante este proyecto.

Jairo González Santacruz

Este proyecto de grado es dedicado primordialmente a Dios, que me ha dado la fortaleza, confianza y dedicación para conseguir cada uno de mis metas. Quiero agradecer a mis padres, mi esposa e hijos por todo el apoyo recibido, cada palabra de esta tesis es suya.

Johan Fritz Rojas

RESUMEN.

Título:

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN FUNCIONAL DE LAS INTERSECCIONES DE LA VÍA 40 CON LA CALLE 58 Y CON LA CARRERA 46 EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA”

Descripción del trabajo:

Este trabajo de grado plantea dos alternativas viales en las intersecciones presentes sobre la Vía 40 con la calle 58 y carrera 46 en la ciudad de Barranquilla, para solucionar los conflictos de accidentalidad y de tránsito existentes que generan retrasos para los usuarios y pérdidas para la economía de la ciudad.

Estas soluciones son el resultado de evaluar varias alternativas con el objetivo de escoger entre ellas la más conveniente desde el punto de vista funcional. La evaluación de cada alternativa comprende el análisis de tránsito para determinar la demanda presente en cada movimiento y el análisis del nivel de servicio ofrecido por cada solución.

Los resultados del trabajo son planteamientos geométricos en planta y perfil, bajo el cumplimiento de todos los parámetros de la norma aplicada para vías urbanas vigentes, HCM 2010 y manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008, que definen la solución vial más favorable para optimizar la movilidad del sector.

ABSTRACT

Title:

"GEOMETRIC DESIGN AND FUNCTIONAL EVALUATION OF THE INTERSECTIONS OF ROAD 40 WITH 58TH STREET AND WITH THE 46TH RACE IN THE CITY OF BARRANQUILLA"

Work description:

This degree project proposes two road alternatives at the intersections present on road 40 with 58th street and 46th race in the city of Barranquilla, to solve existing traffic and accident conflicts that generate delays for users and losses for the economy from the city.

These solutions are the result of evaluating several alternatives in order to choose among them the most convenient from the functional point of view. The evaluation of each alternative includes analysis of traffic to determine the demand present in each movement and analysis of the level of service offered by each solution.

The results of the work are geometric approaches in plant and profile, under the fulfillment of all the parameters of the standard applied for urban roads in force, HCM 2010 and manual of geometric design of roads INVIAS 2008, which define the most favorable road solution to optimize the mobility of the sector.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS.	6
3.1. OBJETIVO GENERAL.	6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
4. MARCO TEÓRICO.	7
4.1. VÍAS URBANAS	7
4.2. SISTEMA VIAL Y JERARQUIZACIÓN VIAL	8
4.3. SISTEMA DE TRANSPORTE	8
4.4. ESTUDIO DE VOLÚMENES VEHICULARES	9
4.5. INTERSECCIÓN EN LA VÍA URBANA.....	10
4.6. INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA.....	10
4.7. GLORIETA.....	11
4.8. INTERSECCIÓN A DESNIVEL	11
4.9. CAPACIDAD	12
4.10. NIVEL DE SERVICIO	12
4.11. SIMULACIÓN DE TRÁFICO	13
5. METODOLOGÍA	17
6. MARCO CONTEXTUAL	19
6.1. INTERSECCIÓN DE LA CALLE 58 CON LA VÍA 40.....	19
6.2. INTERSECCIÓN DE LA CARRERA 46 CON LA VÍA 40.....	21
6.3. VELOCIDAD DE DISEÑO	22
6.4. VEHÍCULO DE DISEÑO	23
6.5. SECCIÓN TRANSVERSAL	24
7. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	25
8. ANÁLISIS DEL TRÁNSITO Y PROYECCIÓN VEHICULAR.	27
8.1. VOLUMEN HORA MÁXIMA DEMANDA DE LA VÍA 40- CALLE 58.	27
8.2. PROYECCIÓN VEHICULAR INTERSECCIÓN VÍA 40-CALLE 58.	28
8.3. VOLUMEN HORA MÁXIMA DEMANDA DE LA VÍA 40- CARRERA 46.	30
8.4. PROYECCIÓN VEHICULAR INTERSECCIÓN VÍA 40-CARRERA 46.	30
9. NIVEL DE SERVICIO SITUACIÓN ACTUAL VÍA 40-CALLE 58.....	32
9.1. SOLUCIÓN INMEDIATA.	33
9.2. NIVEL DE SERVICIO DE LA SOLUCIÓN INMEDIATA.....	34

10.	ALTERNATIVA 1. INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA VÍA 40- CALLE 58.....	35
10.1.	MODELO DIGITAL DE LA ALTERNATIVA 1.	35
10.2.	MODELACIÓN Y NIVEL DE SERVICIO ALTERNATIVA 1 SITUACIÓN FUTURA.....	36
11.	ALTERNATIVA 2. INTERSECCIÓN A DESNIVEL VÍA 40- CALLE 58.....	37
11.1.	DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR DE LA INTERSECCIÓN.	37
11.2.	MODELACIÓN Y NIVEL DE SERVICIO ALTERNATIVA 2 SITUACIÓN FUTURA.....	38
12.	ALTERNATIVA 3. INTERSECCIÓN A DESNIVEL CON GLORIETA VÍA 40-CALLE 58.	39
12.1.	DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR DE LA INTERSECCIÓN	39
12.2.	MODELACIÓN Y NIVEL DE SERVICIO ALTERNATIVA 3 SITUACIÓN FUTURA.....	40
13.	MEJOR ALTERNATIVA PARA LA INTERSECCION VÍA 40 - CALLE 58.	41
14.	NIVEL DE SERVICIO SITUACIÓN ACTUAL VÍA 40-CARRERA 46.....	43
15.	ALTERNATIVA 1. INTERSECCIÓN A DESNIVEL VÍA 40-CARRERA 46.....	45
15.1.	DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR DE LA INTERSECCIÓN	45
15.2.	MODELACIÓN Y NIVEL DE SERVICIO ALTERNATIVA 1 SITUACIÓN FUTURA.....	46
16.	ALTERNATIVA 2. INTERSECCIÓN A DESNIVEL CON GLORIETA VÍA 40-CARRERA	46.
46.	48	
16.1.	DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR DE LA INTERSECCIÓN	48
16.2.	MODELACIÓN Y NIVEL DE SERVICIO ALTERNATIVA 2, SITUACIÓN FUTURA.....	49
17.	MEJOR ALTERNATIVA PARA LA INTERSECCIÓN VÍA 40 - CARRERA 46.	51
18.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL TRÁNSITO PEATONAL.....	52
18.1.	ALTERNATIVA PEATONAL VÍA 40- CALLE 58.....	52
18.2.	ALTERNATIVA PEATONAL VÍA 40 CON CARRERA 46.....	56
19.	CONCLUSIONES.....	58
20.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN DE LA CALLE 58 CON LA VÍA 40.....	20
FIGURA 2. MOVIMIENTOS Y CRUCES DE LA INTERSECCIÓN DE LA CALLE 58 CON LA VÍA 40.....	20
FIGURA 3. INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN DE LA CARRERA 46 CON LA VÍA 40.....	21
FIGURA 4. MOVIMIENTOS Y CRUCES DE LA INTERSECCIÓN DE LA CARRERA 46 CON LA VÍA 40.....	22
FIGURA 5. VEHÍCULO DE DISEÑO DE LAS INTERSECCIONES DE ESTUDIO.....	23
FIGURA 6. SECCIÓN TÍPICA DE LA VÍA 40 ESTADO ACTUAL.....	24
FIGURA 7. SECCIÓN TÍPICA DE LA CALLE 58 ESTADO ACTUAL.....	24
FIGURA 8. SECCIÓN TÍPICA DE LA CARRERA 46 ESTADO ACTUAL.....	24
FIGURA 9. MODELO DIGITAL DE LA INTERSECCIÓN DE LA VÍA 40 CON CALLE 58.....	25
FIGURA 10. MODELO DIGITAL DE LA INTERSECCIÓN DE LA VÍA 40 CON CARRERA 46.....	26
FIGURA 11. TRÁNSITO ACTUAL (ADE) POR TIPO DE MOVIMIENTO VÍA 40- CALLE 58.....	27
FIGURA 12. TRÁNSITO PROYECTADO DE LA VÍA 40 CON CALLE 58 AL AÑO 20.....	29
FIGURA 13. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR ALTERNATIVA 1.....	35
FIGURA 14. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR ALTERNATIVA 2.....	37
FIGURA 15. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR ALTERNATIVA 3.....	39
FIGURA 16. MODELO DE LA SITUACIÓN ACTUAL, VÍA 40- CARRERA 46.....	44
FIGURA 17. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR ALTERNATIVA 1, VÍA 40- CARRERA 46.....	45
FIGURA 18. VISTA EN 3D DE LA ALTERNATIVA 1 DE LA VÍA 40 CON CARRERA 46.....	47
FIGURA 19. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO PRELIMINAR ALTERNATIVA 2, VÍA 40- CARRERA 46.....	48
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN FLUJO PEATONAL EN LA HORA PICO DE LA CALLE 58 CON VIA 40.....	53
FIGURA 21. DISEÑO ALTERNATIVA PEATONAL VÍA 40 CON CALLE 58.....	55

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DE TRAFICO: MACROSCÓPICOS, MESOSCÓPICOS Y MICROSCÓPICOS.....	14
TABLA 2. VOLUMEN HORARIO DE MÁXIMA DEMANDA DE LA VÍA 40- CALLE 58.....	28
TABLA 3. VOLÚMENES FUTUROS POR MOVIMIENTO, INTERSECCIÓN VÍA 40- CALLE 58.....	28
TABLA 4. VOLUMEN HORARIO DE MÁXIMA DEMANDA DE LA VÍA 40- CARRERA 46.....	30
TABLA 5. VOLÚMENES FUTUROS POR MOVIMIENTO, INTERSECCIÓN VÍA 40- CARRERA 46.	30
TABLA 6. NIVEL DE SERVICIO POR COLOR DE ACUERDO AL CONTROL DELAY.	32
TABLA 7. NIVELES DE SERVICIO POR COLOR DE ACUERDO A SU VELOCIDAD.....	32
TABLA 8. NIVELES DE SERVICIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL, VÍA 40-CALLE 58.....	33
TABLA 9. NIVELES DE SERVICIO INTERSECCIÓN VÍA 40 CALLE 58 SOLUCIÓN INMEDIATA.	34
TABLA 10. NIVELES DE SERVICIO DE LA ALTERNATIVA 1, VÍA 40- CALLE 58.....	36
TABLA 11. NIVELES DE SERVICIO DE LA ALTERNATIVA 2, VÍA 40- CALLE 58.....	38
TABLA 12. NIVELES DE SERVICIO DE LA ALTERNATIVA 3, VÍA 40- CALLE 58.....	40
TABLA 13. RESUMEN NIVEL DE SERVICIO VÍA 40 - CALLE 58.....	41
TABLA 14. NIVELES DE SERVICIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL, VÍA 40- CARRERA 46.	43
TABLA 15. NIVELES DE SERVICIO DE LA ALTERNATIVA 1, VÍA 40- CARRERA 46.....	46
TABLA 16. NIVELES DE SERVICIO DE LA ALTERNATIVA 2, VÍA 40- CARRERA 46.....	49
TABLA 17. RESUMEN NIVEL DE SERVICIO VÍA 40 - CARRERA 46.	51
TABLA 18. FLUJOS DE PEATONES VS. VEHÍCULOS POR HORA DE LA VÍA 40 CON CALLE 58.....	53
TABLA 19. DETERMINACIÓN DE DISPOSITIVOS SEGÚN RELACIÓN PV^2 PARA LA VÍA 40 CON CALLE 58. ...	54
TABLA 20. DETERMINACIÓN DE DISPOSITIVOS SEGÚN RELACIÓN PV^2 PARA LA VÍA 40 CON CARRERA 46.	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Levantamiento topográfico de las intersecciones calle 58 y carrera 46 con la vía 40.

Anexo 2. Análisis del tránsito de las intersecciones calle 58 y carrera 46 con la vía 40.

Anexo 3. Análisis del nivel de servicio estado actual vía 40 con calle 58.

Anexo 4. Alternativa 1, intersección semaforizada vía 40 con calle 58.

Anexo 5. Alternativa 2, intersección a desnivel vía 40 con calle 58.

Anexo 6. Alternativa 3, intersección a desnivel con glorieta vía 40 calle 58.

Anexo 7. Plano de la mejor alternativa para la vía 40 con carrera 46.

Anexo 8. Alternativa 1, intersección a desnivel vía 40 con carrera 46.

Anexo 9. Alternativa 2, intersección a desnivel con glorieta vía 40 con carrera 46.

Anexo 10. Plano de la mejor alternativa para la vía 40 con carrera 46.

Anexo 11. Estudio de seguridad vial para las intersecciones de la vía 40 con calle 58 y carrera 46.

Anexo 12. Artículo de difusión del trabajo.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el crecimiento demográfico y automovilístico en los cascos urbanos ha superado apresuradamente la capacidad y el nivel de servicio de muchas vías. El primer punto donde colapsa un sistema local son las intersecciones, porque es el punto donde llega el flujo de una o más vías; las intersecciones que están llegando a capacidad máxima son puntos de accidentalidad y generan el retraso de los vehículos, lo que se traduce en pérdidas económicas para la ciudad, ya sea por el gasto de combustible, desgaste de la infraestructura y los accidentes.

Este problema de movilidad es contemplado dentro de los planes de desarrollo Municipales, Departamentales y Nacionales, cuyo objetivo es solucionar este problema abordando principalmente las vías donde circula el mayor movimiento económico de la ciudad y también las vías que permiten atravesar rápidamente la zona urbana. La ingeniería de vías es la encargada de comprender y analizar las variables que intervienen sobre el flujo vehicular urbano, para proponer soluciones desde el punto de vista técnico y económico; estas soluciones deben estar a la altura para soportar la demanda futura y ser evaluadas antes de su ejecución.

De acuerdo a lo anterior, existen muchas maneras de mejorar una intersección; la elaboración de una alternativa de solución depende en su mayor medida de las condiciones topográficas y geométricas de la zona.

Entre las alternativas que han dado buenos resultados en eficiencia, movilidad y reducción de los niveles de accidentalidad están las glorietas y las intersecciones a desnivel; la elección de una u otra estará determinada básicamente por las condiciones del tránsito.

Cuando el tránsito de las vías que convergen a la intersección no es balanceado, las glorietas no presentan un buen comportamiento y se puede pensar en una intersección a desnivel. Además, las glorietas requieren mayores dimensiones, lo que genera dificultades para su construcción en los cascos urbanos; sin embargo, cuando se cuenta con el espacio suficiente y las condiciones del tránsito son adecuadas, es conveniente implementar una glorieta.

En la ciudad de Barranquilla, capital del departamento del Atlántico, de acuerdo a los datos suministrados por la secretaria de movilidad de Barranquilla, las intersecciones ubicadas en la vía 40 con la calle 58 y con la carrera 46 presentan altos niveles de accidentalidad y tráfico en horas pico; adicionalmente, la vía 40 tiene un alto impacto sobre la economía de la ciudad y es necesaria su inmediata intervención.

En este trabajo se propone realizar el levantamiento topográfico y estudio de tránsito de las dos intersecciones y realizar un análisis del flujo vehicular, capacidad y nivel de servicio, para plantear dos alternativas de diseño geométrico que solucionen los conflictos de movilidad; estas alternativas de solución deben ser seguras, cómodas y adecuarse a la estética de la zona, cumpliendo la normativa de diseño para vías urbanas.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, los accidentes de tránsito y las repercusiones que tienen sobre los usuarios de la infraestructura vial se han convertido en un problema de salud pública, siendo los peatones los usuarios más vulnerables, especialmente en las vías principales.

El alto nivel de riesgo en éstas se debe en gran medida a la insuficiencia e inconsistencia de la infraestructura existente, lo que se traduce en zonas de peligro para los transeúntes y confusión para el conductor. A esto se le agrega que, en países en vía de desarrollo como Colombia, la urbanización no planificada está desarrollándose de manera vertiginosa de tal forma que los diseños de las nuevas vías no siempre son los óptimos y el diseño geométrico de las mismas no cumple con las especificaciones de manuales de diseño de vías reconocidos mundialmente como la AASHTO o la adaptación para Colombia de dicho manual hecha por el Instituto Nacional de Vías INVÍAS. La ausencia de una infraestructura adecuada, así como la falta de regulaciones legales, hacen que el aumento en el número de accidentes de tránsito sea aún más preocupante.

Conforme a datos históricos, en Colombia en el año 1995 el 53% de las víctimas fueron peatones, y el 96% de las fatalidades relacionadas a peatones ocurrieron en los centros poblados¹. De acuerdo a datos del Instituto de Medicina legal y Ciencias forenses, en las áreas urbanas entre los años 1996-2000 los peatones representan el 32% de las personas lesionadas y el 40% de las muertes en los choques de accidentes. En los centros urbanos de gran actividad, los peatones representan el 68% de los heridos en los accidentes de tránsito². La tasa de accidentalidad descendió en un 9% de acuerdo a los datos de la agencia de seguridad vial de los primeros cuatro

¹ POSADA, J., BEN-MICHAEL, E., HERMAN, A., KAHAN, E., & RICHTER, E. (2000). Death and injury from motor vehicle crashes in Colombia. Panam, Salud Pública Vol. 7, N. 2.

² RODRÍGUEZ ET AL. (2003). Road Traffic Injuries in Colombia. Injury Control and Safety Promotion, Volume 11 (4), 29-35.

meses del año 2017, comparados con los meses del 2016, pero aumentó en los ciclistas en un 30%.

Según datos de Secretaria de movilidad de Barranquilla, las intersecciones de la vía 40 con la carrera 46 y con la calle 58, al norte de la ciudad, tienen los índices más altos de accidentalidad de todo el corredor. Entre enero de 2016 y mayo de 2017, en la intersección de la vía 40 con calle 58 han ocurrido 24 accidentes con daños a vehículos y varios heridos, y en la intersección de la vía 40 con carrera 46 han ocurrido 28 accidentes, con sólo daños de vehículos. Esto muestra que las dos intersecciones funcionan de forma ineficiente, generando problemas de accidentalidad y retrasos vehiculares.

Con el fin de mejorar la movilidad en dicha zona se plantea hacer un análisis de las intersecciones existentes, proyectar alternativas de solución y determinar cuál es la mejor, teniendo en cuenta el flujo de vehículos y de peatones, además del máximo aprovechamiento de la infraestructura existente sin sacrificar calidad, seguridad y estética.

- **Alcance del trabajo**

Además de realizar un estudio de tránsito y de evaluar las características actuales de las intersecciones propuestas, en el trabajo se realiza el diseño de dos alternativas de solución para cada intersección, con el fin de determinar la alternativa más conveniente desde el punto de vista funcional que solucione la problemática de accidentalidad, de tránsito vehicular y peatonal.

El trabajo no incluye diseño de pavimentos ni de estructuras especiales, por lo que el análisis económico de cada alternativa tampoco se considera para la elección de la más conveniente.

2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta los problemas de movilidad y accidentalidad, se hace necesario reforzar la planeación urbana mediante programas y políticas para mejorar la seguridad de las vías, en particular la percepción de seguridad de los transeúntes y los niveles de servicio de las intersecciones para los usuarios de servicio público y privado.

Un buen diseño geométrico, además de ser amigable con el conductor, debe brindar facilidades de movilidad a los transeúntes y garantizar el desplazamiento de los mismos, así como también de las personas con movilidad reducida.

Este trabajo plantea, diseña y evalúa alternativas de mejora del diseño geométrico de dos intersecciones de la vía 40. Para la selección de dichas intersecciones se tuvieron en cuenta factores como número de accidentes en el año, número de vehículos involucrados, número de fatalidades y de heridos en cada uno de estos accidentes. Las alternativas de mejora planteadas se diseñan además para integrar el sistema de transporte público con los vehículos particulares en las intersecciones analizadas, dándole prioridad al sistema de transporte masivo.

Se espera que la metodología de recolección de datos, la metodología de diseño y los resultados obtenidos del proyecto sean un caso de referencia para futuras investigaciones donde se deseen implementar criterios técnicos de diseño geométrico sobre intersecciones sustentados con estudios de tránsito que validen el funcionamiento de las mismas.

3. OBJETIVOS.

Se plantean los siguientes objetivos:

3.1.Objetivo general.

Hacer el diseño geométrico, evaluar el funcionamiento y seleccionar la más óptima de dos alternativas de intersección a nivel, desnivel o glorieta en el cruce del corredor de la vía 40 con la calle 58 y con la carrera 46, en la ciudad de Barranquilla, Colombia.

3.2.Objetivos específicos.

- Realizar el levantamiento topográfico y el modelo digital de cada intersección.
- Realizar el estudio de tránsito vehicular y peatonal de cada intersección.
- Hacer el diseño geométrico de las dos alternativas, una a nivel y otra a desnivel, para cada intersección.
- Proponer una alternativa de espacio público para cada alternativa de diseño.

4. MARCO TEÓRICO.

La alternativa de solución de una intersección vial requiere la integración y relación de una serie de conceptos básicos y teorías asociadas fundamentalmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las vías que se cruzan y a las condiciones del flujo vehicular. Con el fin de brindar un soporte al desarrollo del trabajo, se describen los elementos teóricos necesarios para la construcción y modelación de las alternativas de solución y se definen las variables y las hipótesis que sustentan los parámetros que permiten el desarrollo funcional y geométrico de cada alternativa. En conjunto provee un marco de referencia para interpretar los resultados del estudio desde diferentes puntos de vista. Entre las temáticas fundamentales para el desarrollo del trabajo se encuentran:

4.1. Vías urbanas

Son aquellas vías que permiten la movilidad y transporte de personas y mercancías dentro de las áreas urbanas delimitadas por el plan de ordenamiento territorial de cada ciudad. Estas vías forman en conjunto una red vial que conecta orígenes con destinos, permitiendo la movilidad entre zonas residenciales, zonas comerciales, turísticas y toda zona que conlleva la conformación de una ciudad.

Debido a la importancia que estas vías tienen en el desarrollo de la ciudad, es necesario conocer los volúmenes vehiculares que deben suplir. El tamaño y distribución de los volúmenes vehiculares por tanto dependerá de dos aspectos principales: el ordenamiento de la estructura territorial y el plan de movilidad.

Estos dos aspectos determinarán que unas vías tengan mayores o menores flujos vehiculares que otras; con el fin de organizar y de priorizar el flujo vehicular se creó una jerarquización vial, aquí

aparecen dos consideraciones importantes a tener en cuenta: la movilidad y la accesibilidad, estos conceptos pretenden garantizar que los viajes a corta, media y larga distancia se lleven a cabo a velocidades adecuadas y seguras y que a su vez toda persona pueda acceder a estos.

4.2.Sistema vial y jerarquización vial

De acuerdo al estudio integral de transporte urbano para el área metropolitana de Barranquilla, la clasificación vial es la siguiente:

- 1) Infraestructura o red vial principal: Es la conformada por la malla vial principal o vías de mayor jerarquía, que hacen parte de los sistemas estructurantes del Plan de Ordenamiento Territorial, y actúan como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana en concordancia con las relaciones metropolitanas y regionales establecidas. Hacen parte de ésta los siguientes tipos de vías: vía interregional, vía arteria o distribuidoras primarias y vía semi-arteria, o de distribución secundaria
- 2) Infraestructura o red vial secundaria: Es la conformada por la malla vial de nivel intermedio que articula la red vial principal con la red local como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana. Hacen parte de ésta las vías colectoras.
- 3) Infraestructura o red vial local: Es la conformada por el conjunto de vías que se derivan de la red secundaria y permiten el acceso a cada uno de los predios y actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad interna de los barrios y las urbanizaciones. Hacen parte de ésta las vías peatonales.

4.3.Sistema de transporte

Según el plan de ordenamiento de Barranquilla, el sistema de transporte debe responder en forma eficiente, económica y segura a las necesidades de viaje de la población, así como a las de

movilización de carga. El sistema de transporte se compone de: red de transporte masivo Transmetro, red de transporte público colectivo, transporte individual público y privado, red de estacionamientos públicos de propiedad pública, privada o mixta, terminales de pasajeros de transporte urbano e interurbano, terminales de carga, red vial peatonal (Se desarrolla en el capítulo de espacio público), red fluvial y red de ciclo rutas.

4.4. Estudio de volúmenes vehiculares

Estos estudios permiten estimar el número y tipo de vehículos que transitan por la intersección en un periodo determinado. La información que se obtiene debe ser completa, clara y detallada, ya que de éstos depende la evaluación de la situación actual, el estado de los componentes que intervienen en la intersección, el funcionamiento de los dispositivos de control, la elección del vehículo de diseño, la estimación de las longitudes de cruces, puntos de entrecruzamientos, convergencias y divergencias, el diseño de pavimentos, la capacidad y nivel de servicio y la elección de la alternativa de mejoramiento, entre otros.

Volumen de tránsito: Indica el número de vehículos que pasan por la sección transversal de un carril o de una calzada en un periodo de tiempo determinado; tiene la siguiente expresión:

$$Q=N/T \text{ [veh/Tiempo]} \quad (1)$$

Dónde N: número de vehículos y T: tiempo en el que pasan N número de vehículos.

Volúmenes de tránsito horarios: son los más importantes porque se utilizan para diseñar detalles geométricos de las vías, establecer los mecanismos de regulación y control, determinar la capacidad y nivel de servicio. Entre otros, se definen los siguientes volúmenes

- Volumen horario máximo anual (VHMA): es el máximo volumen horario que pasa por un punto de la vía durante un año determinado.
- Volumen horario de máxima demanda (VHMD): es el máximo número de vehículos que pasan por un punto de la vía durante 60 minutos consecutivos.

4.5. Intersección en la vía urbana

Una intersección es el punto donde convergen dos o más vías, puede ser una calle con una carrera, etc., por ser un punto de convergencia se encuentran vehículos que tienen diferentes direcciones y velocidades, las posibles maniobras que se presentan en una intersección son las siguientes: derecho, giro a la izquierda, giro a la derecha y también en algunas se puede retornar.

Existen dos clases de intersecciones, intersecciones a nivel y a desnivel, para elegir cual de ellas se debe utilizar, es necesario tener en cuenta los estudios de tránsito y la topografía, dependiendo de estos dos factores por lo general se considera el siguiente orden de análisis: se comienza con una señal de pare o ceda al paso, se continua con una intersección semaforizada o dependiendo de las condiciones de espacio podría ser una glorieta, si una vez este tipo de soluciones no funcionan se puede empezar a analizar una intersección a desnivel.

4.6. Intersección semaforizada

Tiene como sistema de control el semáforo, el cual es un dispositivo eléctrico que mediante el cambio de color de tres luces para vehículos (verde, amarillo y rojo) y dos para peatones (rojo y verde), regula, controla y coordina el derecho de paso en la intersección. Es muy utilizado en las vías urbanas por su facilidad de colocación, economía, mínimas condiciones de espacio, buen manejo del volumen de vehículos y de peatones.

El motivo principal por el cual se colocan semáforos es por el alto volumen de tránsito en una intersección; sin embargo, también se debe tener en cuenta el volumen de peatones y el historial de accidentes.

4.7.Glorieta

También conocida como intersección giratoria, esta cuenta con un obstáculo central donde llegan dos o más calles, los vehículos que entran deben circular en contra de las manecillas del reloj, estos son los que tienen prioridad, y los que quieren entrar tienen que ceder el paso.

Existen muchos tipos de glorietas, la elección depende de las condiciones particulares de tránsito y topografía de cada intersección, generalmente en Colombia la más utilizada es la glorieta convencional; estas fueron de las primeras que se construyeron con el fin de solucionar problemas de congestión y accidentalidad en las ciudades, se caracterizan por tener una isleta central y entradas abocinadas, las cuales permiten la entrada de uno o más vehículos a la glorieta. Se suelen utilizar para aumentar la capacidad de las intersecciones semaforizadas cuando hay disponibilidad de espacio.

4.8.Intersección a desnivel

La intersección a desnivel tiene mayor capacidad que las otras intersecciones porque al separar los flujos en diferentes niveles no se interrumpe el flujo directo del tráfico y se reduce el número de conflictos de manera directa; utiliza estructuras como puentes, túneles, viaductos, etc.

La intersección a desnivel debe ser acondicionada con carriles de aceleración y deceleración, lo que permite una transición de velocidades entre la calzada de origen y la calzada de salida; esta transición permite a los vehículos igualar su velocidad a la calzada de destino y reduce el riesgo de colisiones por conflictos de divergencia o convergencia.

El diseño de la intersección a desnivel depende de muchos factores, siendo los principales el volumen horario de proyecto, el carácter y composición del tránsito, la velocidad de proyecto, la topografía, el espacio disponible y el costo.

El tipo y la forma de una intersección a desnivel puede ser muy variado, algunas formas típicas de una intersección a desnivel son: en forma de trébol, en forma de diamante, con glorietas, en forma de trompeta, etc. Además, dependiendo del número de ramales de entrada que se desea separar se puede tener intersección de dos o más niveles, los flujos que no se separen deberán contar con su respectivo mecanismo de control.

4.9.Capacidad

La capacidad de una sección o tramo de vía es la cantidad máxima de personas o vehículos que pueden atravesar de manera sostenible un punto o una sección uniforme de un carril o camino durante un periodo de tiempo determinado; para su cálculo se utilizan modelos que evalúan esta capacidad teniendo en cuenta el medio ambiente, el tráfico y las condiciones de control.

Existen dos metodologías principales para la estimación de la capacidad: las basadas en los modelos empíricos, que tratan de establecer los parámetros de esta relación de forma empírica, y los modelos analíticos, que intentan hacerlo a través de modelos de tipo probabilístico.

4.10. Nivel de servicio

El nivel de servicio es una medida cualitativa de las condiciones de circulación del tránsito, que tienen en cuenta factores como la velocidad, el tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad de conducción y los costes de funcionamiento. El nivel de servicio es distinto para autopistas, para tramos de carretera de dos carriles y para intersecciones.

Para éstas se establecieron seis niveles de servicio, ordenados de mejor a peor de la siguiente manera:

- Nivel A, B y C indican condiciones de tráfico donde los vehículos no tienen demoras significativas en los periodos de máxima demanda u hora pico.
- Nivel D y E indican condiciones de tráfico donde los vehículos comienzan a presentar demoras significativas y su velocidad disminuye considerablemente, generando grandes colas en las horas pico.
- Nivel F indica condiciones de tráfico donde los volúmenes de vehículos superan la capacidad; la velocidad del flujo de vehículos es extremadamente lenta y hay congestión.

4.11. Simulación de tráfico

Existen varias herramientas de tráfico que pueden utilizarse, desde simples ecuaciones determinísticas hasta complejos modelos de microsimulación. Hay tres tipos de modelos de representación considerando el nivel de detalle y el campo de interés: microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos. En la Tabla 1 se muestra una comparación de estos modelos.

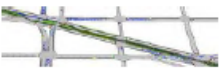


- Modelos híbridos de simulación

Son los paquetes de simulación en los que se combina características de micro- meso- y macrosimulación, estos softwares permiten realizar un análisis a nivel macro- o mesoscópico y luego pasar a un análisis de un tramo de interés a nivel micro.

- Modelos de simulación macroscópica

Conocidos con el nombre de modelización de flujo continuo, se utilizan para estudiar grandes áreas de influencias con grandes cantidades de elementos, estos modelos están basados en la

Tabla 1. Comparación de los modelos de simulación de tráfico: macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos.

	MODELO		
	MICROSCÓPICO	MESOSCÓPICO	MACROSCÓPICO
Cobertura geográfica	 <p>Sub-área pequeña de la red</p>	 <p>red regional o área metropolitana</p>	 <p>red regional o área metropolitana</p>
Demanda	Matriz O/D dinámica	Matriz O/D función del tiempo	Generalmente, matriz O/D estática
Control del tráfico	Hay que tener una señalización detallada y disponer de planes de funcionamiento	Señalización aproximada, pero es necesario disponer de planes de funcionamiento	No es necesaria la señalización ni información de tipo geométrico
Análisis	Comportamiento del modelo basado en algoritmos de seguimiento de vehículo y cambio de carril por vehículos individuales.	Comportamiento del modelo basado en algoritmos de seguimiento de vehículo y cambio de carril por vehículos individuales muy simplificado.	Situación de equilibrio basada en funciones de tipo volumen-demora.
Ventajas	Puede analizar estrategias operacionales como la coordinación de la señalización del tráfico.	Puede analizar, de forma dinámica, redes regionales.	Rápido y sencillo a nivel computacional. Permite analizar grandes áreas geográficas.
Limitaciones	Limitación en el alcance geográfico que puede abarcar, a causa de la complejidad computacional y de su calibración.	Tecnología muy nueva en el mundo de la simulación del tráfico.	No es sensible a estrategias operacionales ni capaz de analizar la desviación dinámica a nivel regional. Obtención de resultados poco fiable.

Fuente: Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante microsimulación de tráfico.

teoría de colas, y estas pueden ser de flujo estacionario y de flujo no estacionario o de cola transitoria. La utilización de estos modelos será válida cuando los resultados no sean sensibles a los detalles microscópicos, o cuando el área de estudio sea muy amplia y el tiempo y los recursos sean limitados.

- Modelo de simulación mesoscópica

Se utilizan cuando la zona de estudio está conformada por varios elementos bien determinados. La representación mesoscópica combina elementos de micro y macro, es decir, rellenan el hueco entre la aproximación que ofrecen los modelos macro y las interacciones individuales de los modelos micro.

- Modelos de simulación microscópica

Los modelos micro modelan el tráfico a nivel de cada vehículo, su interacción con el resto de los vehículos y su interacción con la infraestructura, para lograr esto se basa en modelos basados en la teoría de seguimiento de un vehículo, modelos de cambio de carril y tiene en cuenta las posibles maniobras de los vehículos dentro del flujo de tráfico y la reacción y comportamiento de los vehículos ante señales o detectores. Estos simuladores requieren un estudio detallado del elemento a estudiar, conlleva un elevado coste computacional que limita su área de aplicación, pero sus resultados tienen un alto nivel de precisión.

4.11.1. VISSIM

Es un software para la simulación microscópica y multimodal de tráfico desarrollada durante los años 70' por la empresa PTV-Planung Transport Verkehr, en Kalsruhe, Alemania. Este software permite modelar de forma dinámica (que evoluciona con el tiempo), discreto (el estado de las

variables cambia instantáneamente en tiempos puntuales, normalmente fijos) y estocástico (con valores aleatorios) los distintos tipos de transporte (vehículos, peatones, transporte público y bicicletas) y las interacciones entre éstos. VISSIM permite modelizar todo tipo de intersecciones con una precisión de hasta un milímetro, para lo que utiliza un modelo de seguimiento psicofísico a través de una serie de enlaces y conectores. La calidad de la simulación depende de la calidad del modelo introducido.

Se emplea para estudios de movilidad y planificación del transporte, sistemas inteligentes de tráfico y sistemas de gestión y control de tráfico.

4.11.2. TSIS³

Es un sistema integrado de programas de tráfico, que permite la simulación de redes complejas urbanas, compuestas por arterias semaforizadas (NETSIM: NETworSIMulation, Simulación de redes viales) y autopistas (FRESIM: FREewaySIMultaion, Simulación de Autopistas).

El modelo de simulación TSIS es un modelo microscópico, en el cual se describen las condiciones variables que ocurren en un sistema vial. El tiempo de simulación se maneja como una secuencia de periodos de igual o diferente duración, cada uno de los cuales se subdivide en una serie de intervalos de tiempo, los cuales son base para la contabilización de las estadísticas.

Es una herramienta eficaz para analizar sistemas de tránsito urbano, puede ser utilizado para evaluar un amplio rango de estrategias de operación del tránsito, en intersecciones individuales, en arterias urbanas o en grandes redes viales urbanas.

³ Riaño D & Farinango F. (2016). Estudio de tránsito y modelación para dar soluciones viales a desnivel de la intersección de la carrera 8 entre el par vial de la calle 25 y calle 26 de la ciudad de Santiago de Cali. Santiago de Cali

5. METODOLOGÍA

A partir de la recolección y procesamiento de información relacionada con la topografía y el movimiento vehicular de la zona mediante levantamientos topográficos, aforos digitales y de la evaluación de las propuestas de solución a la problemática presentada, se realizó el diseño geométrico fase tres considerando un análisis de la capacidad y nivel de servicio en cada intersección. Las alternativas planteadas contaron con criterios como viabilidad geométrica, en materia de tránsito, técnica-económica y afectación predial para su elección; cada una de ellas se evaluó con respecto a las proyecciones del tránsito a los 5, 10, 15 y 20 años.

Para monitorear el impacto del proyecto y el cumplimiento de los objetivos se verificaron las condiciones actuales de movilidad versus las condiciones modeladas de las alternativas planteadas y se evaluó a partir de estos resultados el beneficio que el proyecto trae consigo teniendo los niveles de servicio de las intersecciones como un criterio principal. Adicionalmente, se garantiza para el diseño de las intersecciones a intervenir, el cumplimiento y seguimiento de los manuales de diseño de vías urbanas adoptados por la normativa colombiana.

- **Actividades metodológicas**

- 1) Levantamiento de la información correspondiente a la topografía del sector de influencia del proyecto con puntos tomados a partir del sistema de posicionamiento geográfico GPS para amarrar esta información con la placa del IGAC sobre el laboratorio de Las Flores.
- 2) Levantamiento topográfico en campo detallado de cada intersección.
- 3) Definición de estaciones de aforo en sitios específicos para realizar el conteo del flujo en todos los movimientos permitidos en las intersecciones y en las vías de interés. Dichos

aforos se realizaron digitalmente, es decir, se instalaron cámaras en las estaciones definidas y posteriormente se digitalizó la información.

- 4) Análisis de la situación actual en materia de tránsito teniendo en cuenta nivel y capacidad de servicio.
- 5) Elaboración de las alternativas de diseño geométrico para las intersecciones evaluando la viabilidad geométrica, en materia de tránsito, técnico-económica y la afectación predial de dichas alternativas.
- 6) Elección de las dos mejores alternativas de solución y análisis del impacto del proyecto a 5, 10, 15 y 20 años. Para esto último se tuvo en cuenta la proyección de crecimiento de los autos, buses, camiones, motos y bicicletas.
- 7) Elaboración de los informes con los resultados obtenidos de las simulaciones y modelaciones del tránsito con las alternativas de solución y con la infraestructura actual. Dichos informes cuentan con el análisis de los parámetros de tránsito y el chequeo de las consideraciones geométricas.
- 8) Por último, presentación del trabajo y los resultados obtenidos en formato para la publicación en un artículo, seminario o revista para su respectiva difusión.

6. MARCO CONTEXTUAL

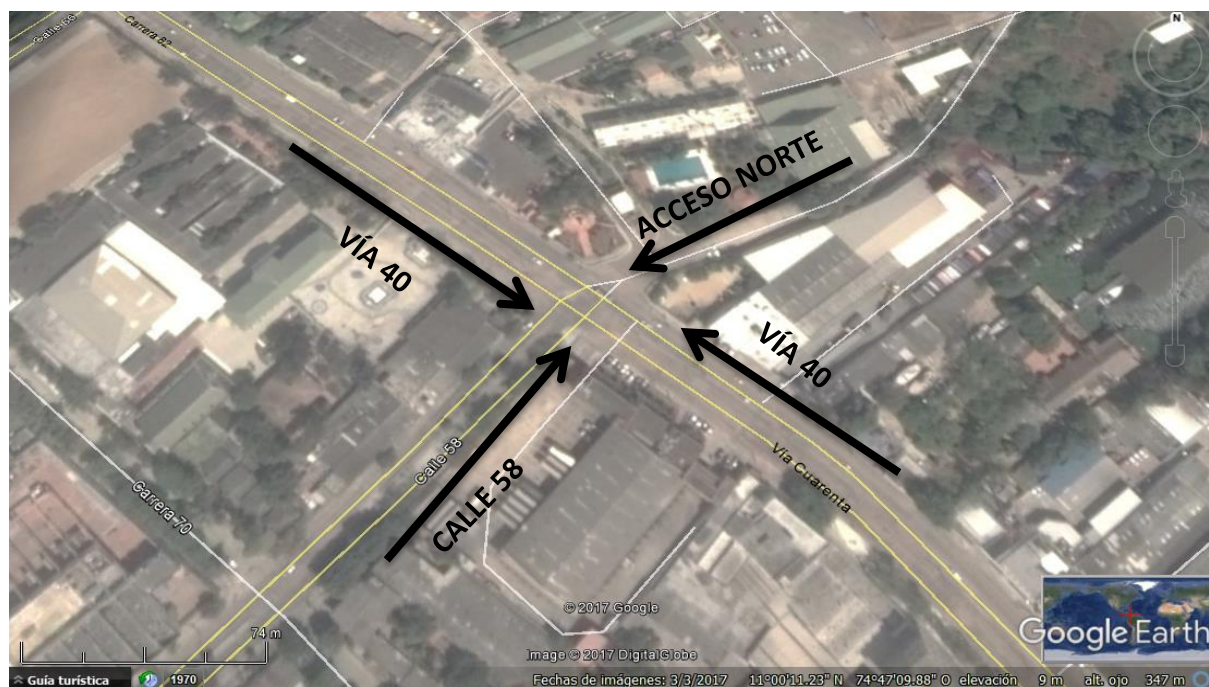
El presente trabajo evalúa las condiciones actuales y propone como mínimo el diseño geométrico de dos alternativas de solución de dos intersecciones con alto índice de accidentalidad en la ciudad de Barranquilla ubicadas en la intersección de la vía 40 con la calle 58 y con la carrera 46.

6.1. Intersección de la calle 58 con la vía 40.

Es una intersección a nivel con control de PARE ubicada en el cruce de la calle 58 con la vía 40 en la ciudad de Barranquilla, Atlántico. Sus coordenadas son: latitud $11^{\circ}0'11.84''N$, longitud $74^{\circ}47'10.22''O$, cota 9 m.

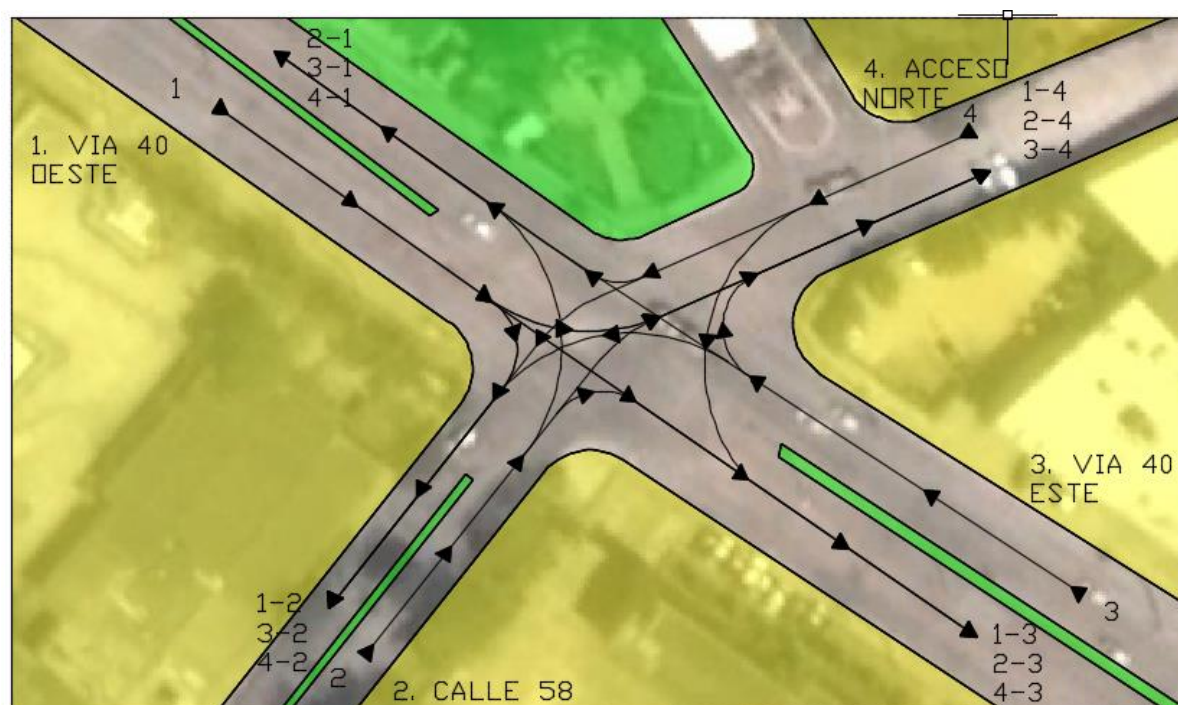
Las vías que convergen a la intersección de acuerdo al POT de Barranquilla son clasificadas de la siguiente manera: La vía 40 es considerada como arteria principal, que bordea el sector oriental de la ciudad de Barranquilla; es una calle paralela al río Magdalena, rodeada de industrias, empresas y bodegas. Y la calle 58 es considerada como semi-arteria del sistema vial principal, rodeada de universidades y zonas residenciales. La Figura 1 muestra la infraestructura y los accesos que confluyen a la intersección de estudio y en la figura 2 se muestran los tipos de movimientos y cruces que se realizan bajo la señal de PARE que está actuando.

Figura 1. Infraestructura actual de la intersección de la calle 58 con la vía 40.



Fuente: Google Earth.

Figura 2. Movimientos y cruces de la intersección de la calle 58 con la vía 40.



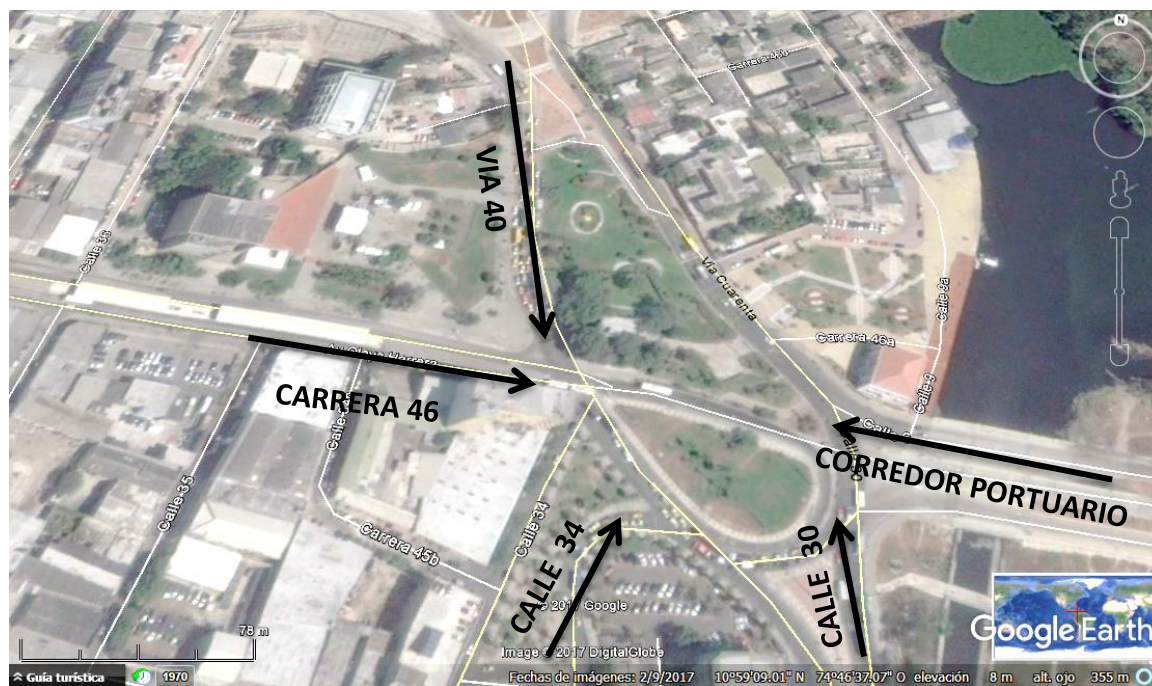
Fuente: Elaboración propia

6.2. Intersección de la carrera 46 con la vía 40.

Es una intersección a nivel semaforizada ubicada en el cruce de la carrera 46 con la vía 40, en la ciudad de Barranquilla. Sus coordenadas son: latitud $10^{\circ}59'8.73''\text{N}$, longitud $74^{\circ}46'37.32''\text{O}$, cota 8 m.

Las vías que convergen a la intersección de acuerdo al POT de Barranquilla son clasificadas de la siguiente manera: La vía 40 es considerada como arteria principal, que bordea el sector oriental de la ciudad de Barranquilla; es una calle paralela al río Magdalena, rodeada de industrias, empresas y bodegas. La carrera 46 o avenida Olaya Herrera es considerada como arteria principal, que cruza la ciudad de oriente a occidente. Inicia en Barranquillita y, a partir de su cruce con la avenida Pumarejo, se convierte en la antigua carretera a Puerto Colombia. La Figura 3 muestra la infraestructura y los accesos que confluyen a la intersección de estudio.

Figura 3. Infraestructura actual de la intersección de la carrera 46 con la vía 40.



Fuente: Google Earth.

La intersección cuenta con semáforos, que permiten realizar los movimientos que muestra la Figura 4:

Figura 4. Movimientos y cruces de la intersección de la carrera 46 con la vía 40.



Fuente: Elaboración propia

6.3. Velocidad de diseño

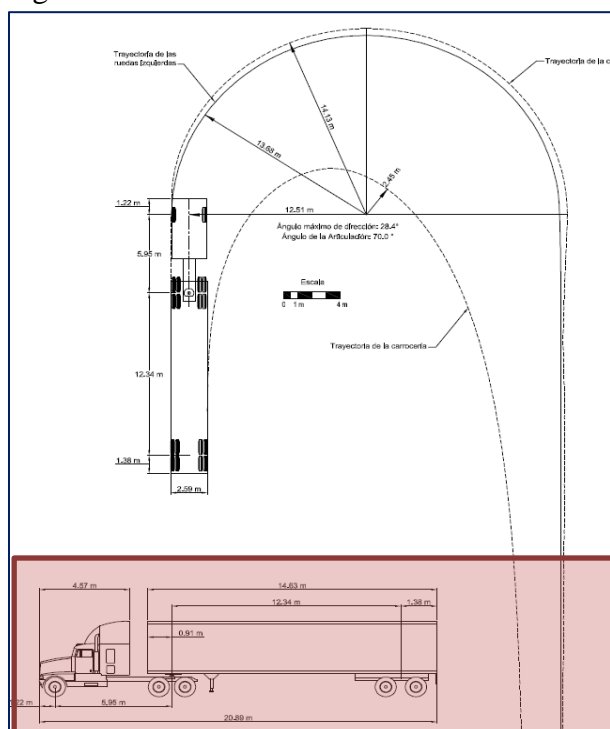
Con base en los casos de estudio, se presentan los criterios para adoptar la velocidad de diseño, teniendo en cuenta la ubicación de las intersecciones. El diseño se encuentra enmarcado en la generación de espacios que cuenten con una infraestructura urbana adecuada para la construcción de sectores residenciales adecuados y seguros para las familias que habitan en este sector. Se realizó un análisis teniendo en cuenta el tipo de topografía existente y la distribución de la red vial proyectada en la zona, caracterización de las vías y acogiéndose a las consideraciones para el diseño de vías urbanas locales por los manuales de diseño geométrico de carreteras del INVIAS,

se llegó a la conclusión que la velocidad de diseño deberá ser de 50 km/h para la vía 40 y de 40 km/h para la calle 58 y la carrera 46. Esto garantizará una circulación del flujo vehicular cómoda y segura, además que permitirá que el cruce de peatones sea mucho más fácil y seguro, reduciendo los índices de accidentalidad.

6.4. Vehículo de diseño

Se considera vehículo de diseño a aquél que representa a todos los vehículos que pueden circular por la vía del proyecto. El vehículo de diseño para las intersecciones de la vía 40 con calle 58 y carrera 46, de acuerdo al estudio de tránsito, es el tractocamión de tres (3) ejes con semirremolque de dos (2) ejes (C3S2). La trayectoria del vehículo de diseño determina los radios de giro mínimos y el ancho de carril de los ramales. Las dimensiones y la trayectoria de giro para el vehículo de diseño se presentan en la Figura 5:

Figura 5. Vehículo de diseño de las intersecciones de estudio.



Fuente: Manual de diseño Geométrico INVIAS (2008)

6.5. Sección transversal

Las vías que hacen parte del proyecto están conformadas por calzadas bidireccionales; la vía 40 cuenta con un separador central de un metro y tiene seis carriles en total, mientras que la calle 58 y carrera 46 cuentan con cuatro carriles cada una y un separador central de dos metros; el ancho del andén es de tres metros en promedio. La Figura 6, Figura 7 y Figura 8 muestran las secciones típicas de las vías que intervienen en las intersecciones del presente trabajo y permiten realizar el modelo en tres dimensiones de la intersección. Estas secciones cuentan con el número y ancho de carriles mínimo estipulado por el POT de la ciudad de Barranquilla, razón por la cual en las alternativas se trata de conservar al máximo la infraestructura existente.

Figura 6. Sección típica de la vía 40 estado actual.

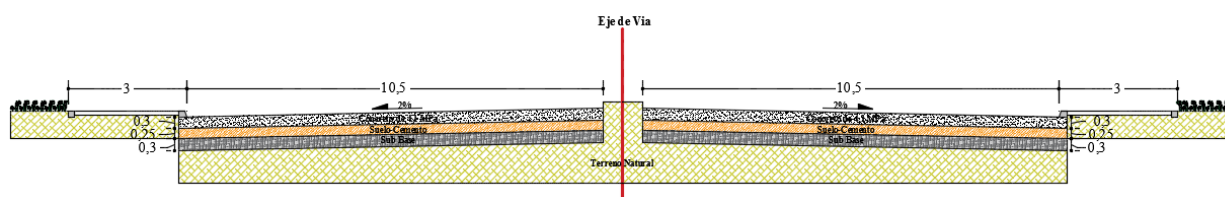


Figura 7. Sección típica de la calle 58 estado actual.

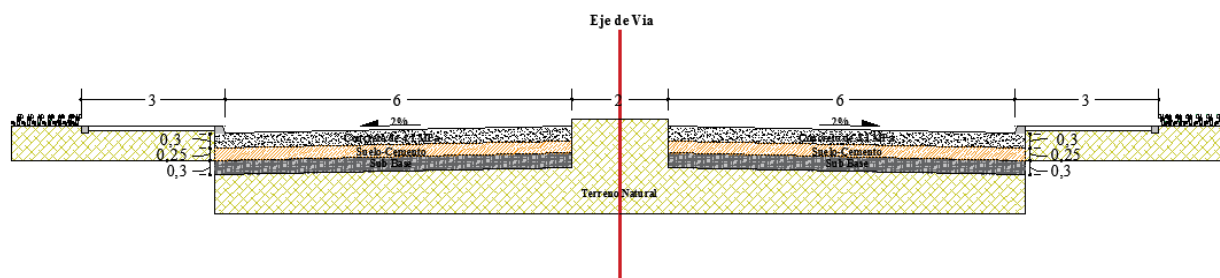
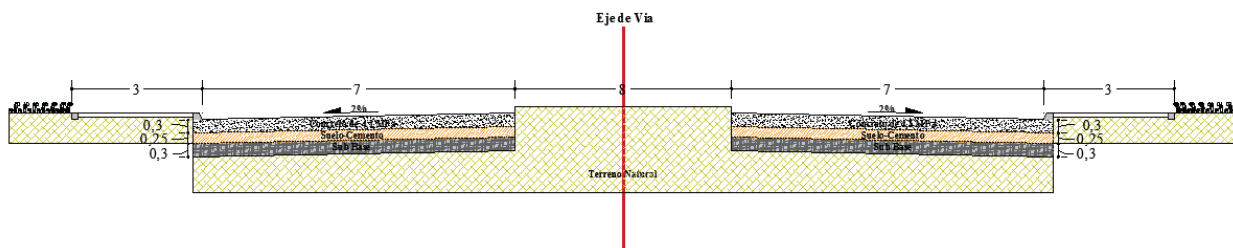


Figura 8. Sección típica de la carrera 46 estado actual.



7. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

El levantamiento topográfico se realizó con los fundamentos técnicos y con el detalle suficiente para poder elaborar las alternativas de solución; en el anexo 1 está en detalle los elementos que se tuvieron en cuenta para los levantamientos planimétricos, altimétricos y arquitectónicos que se muestran en la Figura 9 y Figura 10, además, contiene el equipo y personal utilizado, la información de los mojones de georreferenciación y el respectivo post-proceso de los datos.

El modelo digital se realizó con la ayuda de TOPO 3, se obtuvo un modelo con precisión milimétrica requerido para la elaboración de este proyecto, para lograrlo se puso sumo cuidado en el trazado de las líneas de quiebre del modelo y se elaboraron curvas de nivel cada 25 cm.

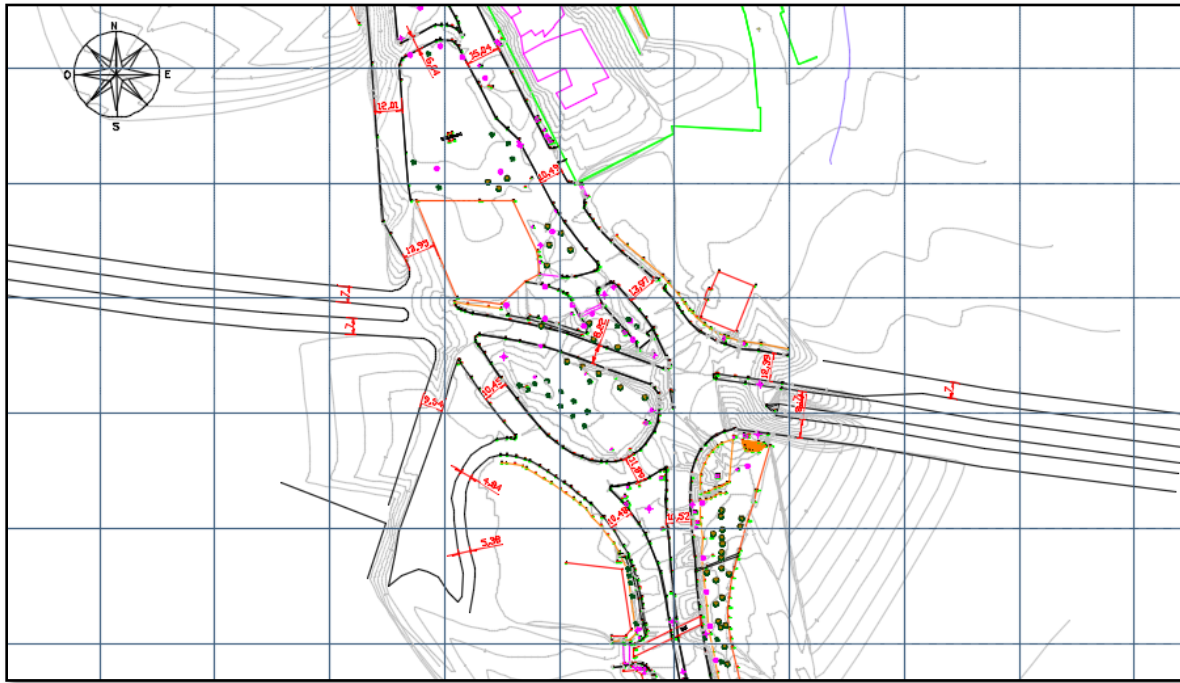
Figura 9. Modelo digital de la intersección de la vía 40 con calle 58.



Elaboración propia, software TOPO3

Para la vía 40 con calle 58, las secciones típicas del numeral anterior corresponden efectivamente a las observadas en el modelo, la vía 40 tiene 6 carriles de 3.50 m. con un separador de 1.0 m. mientras que la calle 58 tiene 4 carriles de 3.0 m con un separador de 2.0 m. el cual se pierde en el acceso norte.

Figura 10. Modelo digital de la intersección de la vía 40 con carrera 46.



Elaboración propia, software TOPO3

Para la vía 40 con carrera 46, las secciones típicas del numeral anterior no son representativas, esto quiere decir que las dimensiones de los andenes, carriles y separadores cambian a lo largo de su trayectoria, para poder trabajar en las alternativas de solución se debe realizar polilíneas de control que permitan ajustar milimétricamente el modelo a la realidad.

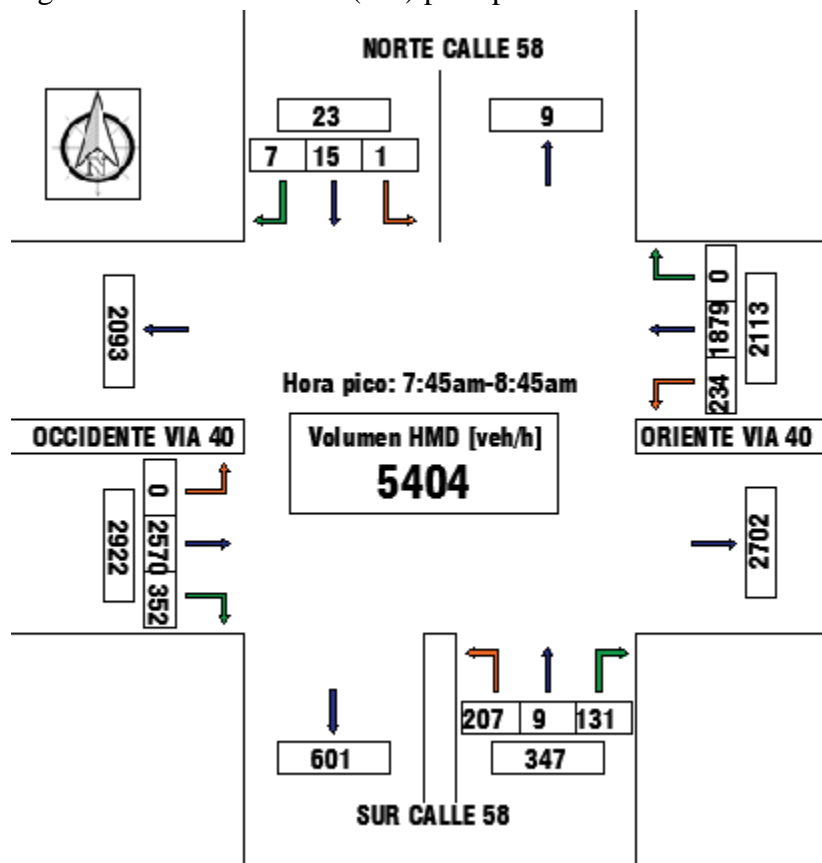
8. ANÁLISIS DEL TRÁNSITO Y PROYECCIÓN VEHICULAR.

El estudio de tránsito permitió establecer la hora pico, el volumen horario de máxima demanda y el factor hora de máxima demanda para cada intersección. En el anexo 2 se registran los flujos para cada acceso y el factor de hora de máxima demanda respectivo.

8.1. Volumen hora máxima demanda de la vía 40- calle 58.

La Figura 11 contiene los flujos por movimiento y acceso en la hora pico, los cuales permitirán hacer las proyecciones futuras y la Tabla 2 contiene el factor hora de máxima demanda e indica también que el flujo vehicular en la hora pico en intervalos de 15 minutos es invariable, lo que quiere decir que el flujo de tránsito tiende a ser uniforme.

Figura 11. Tránsito actual (ade) por tipo de movimiento vía 40- calle 58.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Volumen horario de máxima demanda de la vía 40- calle 58.

VOLUMEN EN HMD (ade)	HMD	VEHÍCULOS EQUIV	
		q15	FHMD
5,404	7:45 - 8:00	1,313	0.98
	8:00 - 8:15	1,355	
	8:15 - 8:30	1,369	
	8:30 - 8:45	1,367	

Fuente: Elaboración propia.

8.2. Proyección vehicular intersección vía 40-calle 58.

De acuerdo con las proyecciones del tránsito indicadas en el anexo 2, tenemos los siguientes volúmenes vehiculares por acceso de la Tabla 3, los cuales permiten modelar la condición futura de cada alternativa.

Tabla 3. Volúmenes futuros por movimiento, intersección vía 40- calle 58.

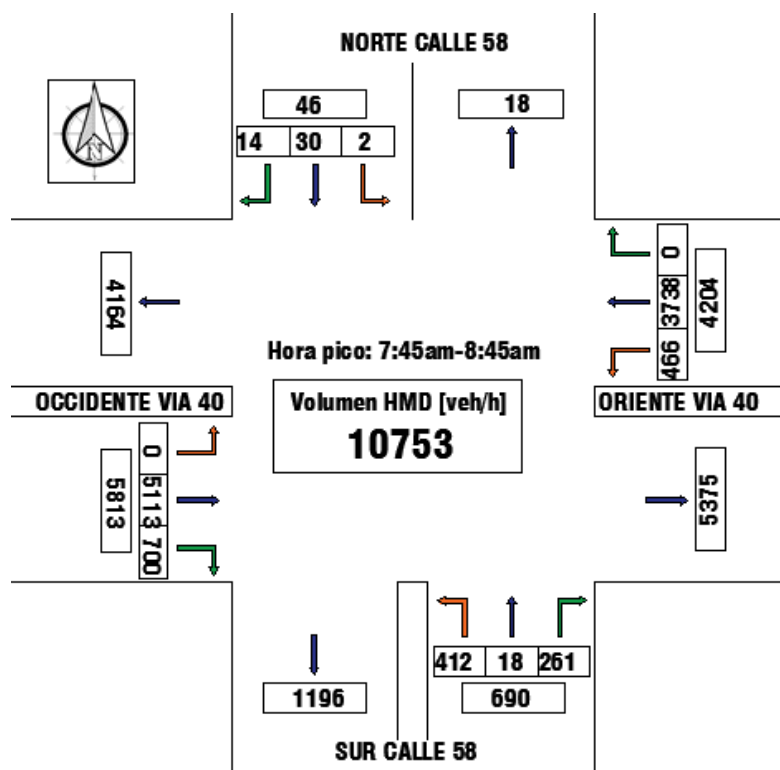
MOVIMIENTOS	VOLUMEN POR ACCESO [ade]			
	NORTE CALLE 58	SUR CALLE 58	OCCIDENTE VÍA 40	ORIENTE VÍA 40
Proyección vehicular para el años 5				
Frente	18	11	3052	2231
Izquierda	1	246	0	278
Derecha	8	156	418	0
Giro en U	0	0	0	0
Total	27	412	3470	2509
Proyección vehicular para el años 10				
Frente	21	13	3625	2650
Izquierda	1	292	0	330
Derecha	10	185	496	0
Giro en U	0	0	0	0
Total	32	489	4121	2980
Proyección vehicular para el años 15				
Frente	25	15	4305	3147
Izquierda	2	347	0	392
Derecha	12	219	590	0
Giro en U	0	0	0	0
Total	39	581	4894	3539

MOVIMIENTOS	VOLUMEN POR ACCESO [ade]			
	NORTE CALLE 58	SUR CALLE 58	OCCIDENTE VÍA 40	ORIENTE VÍA 40
Proyección vehicular para el años 20				
Frente	30	18	5113	3738
Izquierda	2	412	0	466
Derecha	14	261	700	0
Giro en U	0	0	0	0
Total	46	690	5813	4204

Fuente: Elaboración propia

Los flujos vehiculares directos de la vía 40 procedentes de los accesos occidente y oriente son los más elevados, estos generan muchos conflictos de cruce y será necesario separarlos mediante ramales a desnivel, para entender mejor la situación en la Figura 12 se indica la proyección de los volúmenes vehiculares para el año 20, con estos volúmenes se comienza el dimensionamiento geométrico de las alternativas de solución.

Figura 12. Tránsito proyectado de la vía 40 con calle 58 al año 20.



Fuente: Elaboración propia.

8.3. Volumen hora máxima demanda de la vía 40- carrera 46.

La Tabla 4 indica que el flujo vehicular en la hora pico en intervalos de 15 minutos es invariable, lo que quiere decir que el flujo de tránsito tiende a ser uniforme.

Tabla 4. Volumen horario de máxima demanda de la vía 40- carrera 46.

VOLUMEN EN HMD (ade)	HMD	VEHICULOS EQUIV	
		q15	FHMD
6,748	17:45 - 18:00	1,702	0.979
	18:00 - 18:15	1,677	
	18:15 - 18:30	1,723	
	18:30 - 18:45	1,646	

Fuente: Elaboración propia

8.4. Proyección vehicular intersección Vía 40-Carrera 46.

De acuerdo con las proyecciones del tránsito que se pueden encontrar en el anexo 2, tenemos los siguientes volúmenes vehiculares por acceso de la Tabla 5, los cuales nos permitirán modelar la condición futura de cada alternativa.

Tabla 5. Volúmenes futuros por movimiento, intersección vía 40- carrera 46.

MOVIMIENTOS	VOLUMEN POR ACCESO [ade]				
	NORTE VÍA 40	OCCIDENTE CARRERA 46	ORIENTE C. PORTUARIO	SUR CALLE 30	SUR CALLE 34
Volumen vehicular para el años 5					
Frente	3187	49	0	2448	0
Izquierda	342	220	0	0	0
Derecha	84	48	319	8	368
Giro en U	665	277	0	0	0
Total	4278	593	319	2456	368
Volumen vehicular para el años 10					
Frente	3785	58	0	2907	0
Izquierda	406	261	0	0	0
Derecha	100	56	379	10	437
Giro en U	790	329	0	0	0
Total	5081	704	379	2917	437

MOVIMIENTOS	VOLUMEN POR ACCESO [ade]				
	NORTE VÍA 40	OCCIDENTE CARRERA 46	ORIENTE C. PORTUARIO	SUR CALLE 30	SUR CALLE 34
Volumen vehicular para el años 15					
Frente	4495	69	0	3453	0
Izquierda	483	310	0	0	0
Derecha	119	67	451	12	519
Giro en U	938	390	0	0	0
Total	6035	836	451	3465	519
Volumen vehicular para el años 20					
Frente	5339	82	0	4101	0
Izquierda	573	368	0	0	0
Derecha	141	80	535	14	617
Giro en U	1114	464	0	0	0
Total	7167	993	535	4115	617

Fuente: Elaboración propia

Los flujos vehiculares directos de la vía 40 y la calle 30 son los más elevados, estos movimientos deben ser separados de los demás mediante ramales a desnivel, teniendo en cuenta la posibilidad de una glorieta para los demás ramales de entrada, se busca un flujo balanceado y por este motivo es necesario considerar los flujos del giro en U del acceso norte vía 40 y el giro en U o giro a la izquierda del acceso occidente carrera 46, separando estos flujos mediante ramales a desnivel se puede obtener un tránsito balanceado en la glorieta, el resultado sería una intersección de tres niveles. Sin embargo, considerando que la intersección a tres niveles podría tener costos muy altos, se analizara la posibilidad de que algunos movimientos se realicen en intersecciones contiguas.

9. NIVEL DE SERVICIO SITUACIÓN ACTUAL VÍA 40-CALLE 58

De acuerdo al manual de capacidad de carretera se puede asignar un nivel de servicio dependiendo del sistema de control que está actuando en el tramo de análisis, es así como se puede asignar el nivel de servicio de acuerdo al control delay indicado en la Tabla 6 o de acuerdo a la velocidad indicada en la Tabla 7.

Tabla 6. Nivel de servicio por color de acuerdo al control delay.

NIVEL DE SERVICIO		
Nivel	Control Delay [s/veh]	Color
A	<10	VERDE
B	10-20	CYAN
C	20-35	AZUL
D	35-55	MAGENTA
E	55-80	NARANJA
F	>80	ROJO

Fuente: (Highway Capacity Manual, 2010).

Tabla 7. Niveles de servicio por color de acuerdo a su velocidad.

NIVELES DE SERVICIO			
Nivel	Velocidad [Km/h]	Velocidad [millas/h]	Color
A	>41	>26	VERDE
B	32-41	20-26	CYAN
C	23-32	14-20	AZUL
D	18-23	11-14	MAGENTA
E	14-18	9-11	NARANJA
F	<17	<9	ROJO

Fuente: (Highway Capacity Manual, 2010).

Con la información del levantamiento topográfico y el tránsito actual se hizo una micro-simulación en el software TSIS. De la modelación de TSIS se puede obtener los siguientes parámetros de salida:

- Control delay o demora promedio por vehículo (segundos/vehículo): es la demora promedio que experimenta el vehículo promedio al completar un viaje en un tramo.

- Stop o paradas promedio de vehículos (%): es el porcentaje de todos los viajes en el que un vehículo es obligado a realizar un PARE completo, al menos una vez.
- Velocidad promedio de recorrido (km/h): es la distancia total recorrida dividida por el tiempo total de recorrido en el tramo.

Estos resultados se indican en la Tabla 8 y la representación gráfica puede verse en el anexo 5.

Tabla 8. Niveles de servicio de la situación actual, vía 40-calle 58.

Acceso	Control Delay [s/veh]	Stop [%]	Velocidad [Km/h]	Nivel de servicio
Norte calle 58	2409.7	100.0	0.0	F
Sur calle 58	3312.7	100.0	0.0	F
Occidente vía 40	0.1	1.0	43.1	A
Oriente vía 40	9.1	10.0	8.5	F

Elaboración propia, Software TSIS.

Los niveles de servicio son de calificación F, de acuerdo a la lógica analítica del seguimiento vehicular y la respuesta a las señales de control del software TSIS, para los accesos Norte y Sur de la calle 58 no hay posibilidad de paso, esto quiere decir que los vehículos no pueden seguir su trayectoria debido al elevado flujo que proviene de la vía 40, el motivo es que la señal de PARE no cumple con las condiciones normales de seguridad y esto refleja el elevado índice de accidentalidad. Considerando que la señal de PARE es la causante de los accidentes se propone colocar semáforos como solución inmediata.

9.1.Solución inmediata.

De acuerdo al análisis de nivel de servicio de la situación actual, el problema de accidentalidad radica principalmente en el sistema de control de PARE que está operando; como solución inmediata, desde el punto de vista de economía y rapidez de implementación, se sugiere la

colocación de semáforos para el control de los flujos vehiculares desbalanceados, dando prioridad a los volúmenes vehiculares provenientes de la vía 40.

El modelo de simulación TSIS requiere como información obligatoria datos sobre las fases, los intervalos y los desfases de tiempo en cada acceso de la intersección semaforizada; esta información se obtuvo con el software “Semáforo” desarrollado por la Universidad del Cauca, el cual indica el reparto de verde efectivo; este a su vez requiere como datos de entrada el flujo de saturación (s), su cálculo se realizó con los parámetros del manual “HCM-2010”, toda esta información se indica en detalle en el anexo 3.

9.2. Nivel de servicio de la solución inmediata.

La regulación del tránsito con semáforos mejora considerablemente la situación de accidentalidad que se presenta; sin embargo, el nivel de servicio en la vía 40 disminuye a E y F, como se muestra en la Tabla 9 (datos de salida explicados en el numeral 9).

Tabla 9. Niveles de servicio intersección vía 40 calle 58 solución inmediata.

Acceso	Control Delay [s/veh]	Stop [%]	Nivel de servicio
Norte calle 58	9.5	78.0	B
Sur calle 58	0.0	78.0	B
Occidente vía 40	57.4	96.0	E
Oriente vía 40	84.2	86.0	F

Estudiando la situación actual y teniendo en cuenta las proyecciones de tránsito se plantean tres alternativas de solución:

- Alternativa 1: Intersección semaforizada.
- Alternativa 2: Intersección a desnivel.
- Alternativa 3: Intersección a desnivel con glorieta.

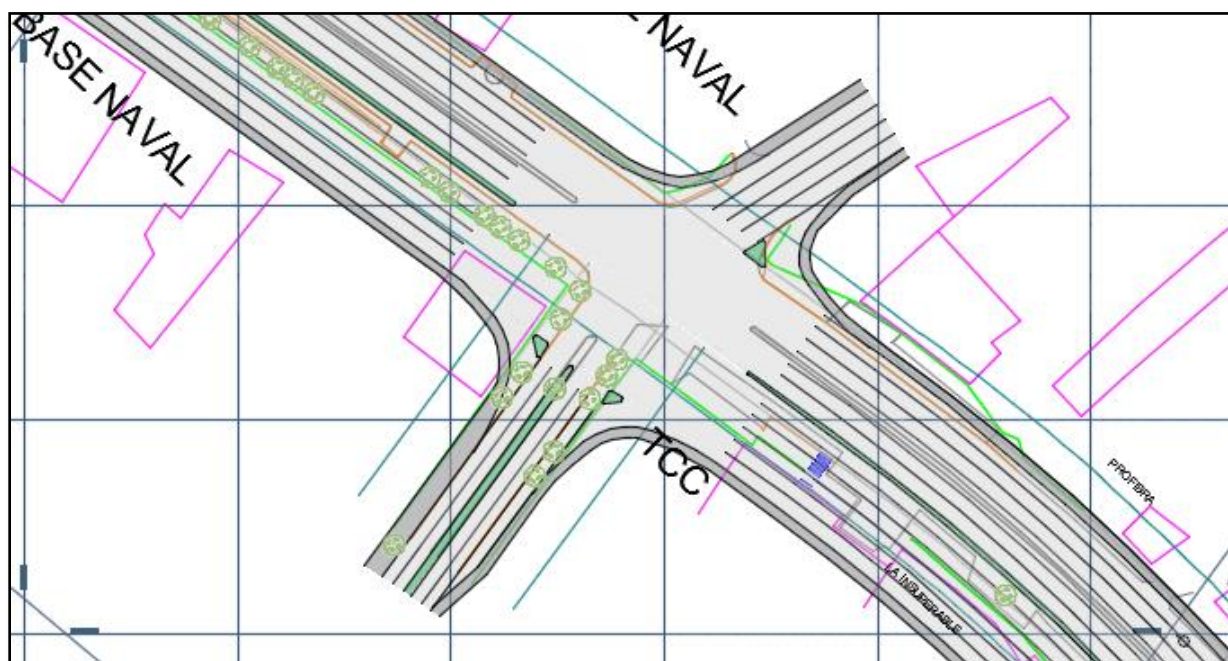
10. ALTERNATIVA 1. INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA VÍA 40- CALLE 58.

Teniendo en cuenta la información anterior se plantea el diseño geométrico de la alternativa 1, que consiste en implantar un sistema de semáforos, además de ampliar la calzada existente. Los parámetros utilizados para la elaboración de la alternativa: velocidad de diseño, vehículo de diseño, peralte máximo, radio mínimo de giro, ancho de carril, pendiente longitudinal, curvas verticales, peraltes, bombeos, diseño de los alineamientos vertical y horizontal y las secciones transversales se pueden consultar en el anexo 4.

10.1. Modelo digital de la alternativa 1.

El modelo digital fue creado con los datos del levantamiento topográfico; se utilizó el software AutoCAD y Topo3 para hacer el diseño en perfil, planta y sección transversal y obtener el modelo en 3D acorde a las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras del instituto nacional de vías (INVIAS) del año 2008 como se indica en la Figura 13.

Figura 13. Dimensionamiento y diseño preliminar alternativa 1, vía 40- calle 58.



10.2. Modelación y nivel de servicio alternativa 1 situación futura

Se realiza la micro-simulación de la alternativa en el software TSIS con el fin de determinar el nivel de servicio, al tratarse de una intersección semaforizada se tiene en cuenta como parámetro principal el control delay. El nivel de servicio que caracteriza cada acceso está dado por el tramo más crítico que lo conforma; la simulación permite identificar gráficamente estos tramos como se muestra en el anexo 4, en este también se indica el ciclo de semáforo adoptado para cada periodo de diseño y los resultados obtenidos se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Niveles de servicio de la alternativa 1, vía 40- calle 58.

Acceso	Control Delay [s/veh]	Stop [%]	Nivel de servicio	
Nivel de Servicio para el año 5				
NORTE	17.4	85	B	B
SUR	17.2	83	B	
OCCIDENTE	27	65	C	
ORIENTE	10.2	58	B	
Nivel de Servicio para el año 10				
NORTE	23.8	83	C	C
SUR	21.6	80	C	
OCCIDENTE	20.7	44	C	
ORIENTE	14.5	55	B	
Nivel de Servicio para el año 15				
NORTE	25.1	83	C	C
SUR	21.8	80	C	
OCCIDENTE	21.2	44	C	
ORIENTE	17.6	54	B	
Nivel de Servicio para el año 20				
NORTE	22.2	89	C	C
SUR	23.2	79	C	
OCCIDENTE	19.1	56	B	
ORIENTE	20.6	43	C	

Con la semaforización se logra un nivel de servicio “C” para todos los periodos de diseño; este nivel es bajo, lo que indica que el aumento de carriles no es eficaz, ni tampoco la mejor opción.

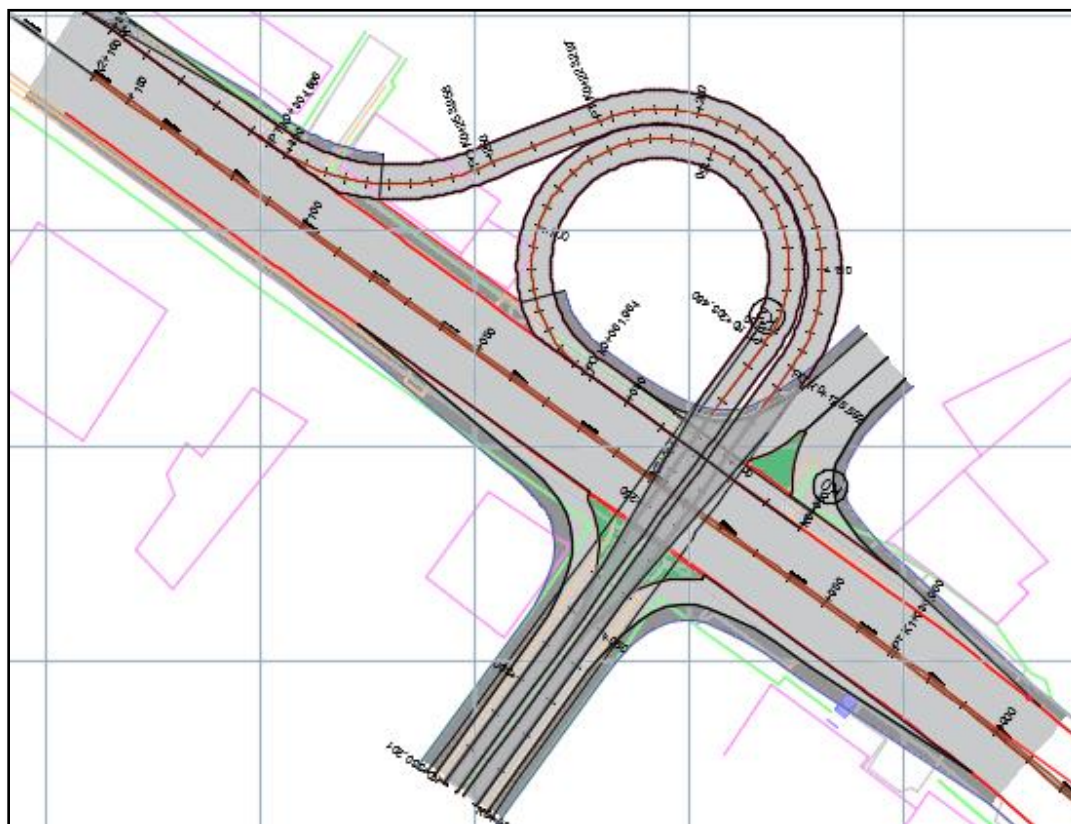
11. ALTERNATIVA 2. INTERSECCIÓN A DESNIVEL VÍA 40- CALLE 58.

Teniendo en cuenta la información anterior se planteó el diseño geométrico de la alternativa 2, que consiste en elevar y separar el flujo vehicular proveniente de los giros a la izquierda de los accesos Oriente y Sur, los cuales son mayores. Los parámetros utilizados: velocidad de diseño, vehículo de diseño, peralte máximo, radio mínimo de giro, ancho de carril, pendiente longitudinal, curvas verticales, peraltes, bombeos, diseño de los alineamientos vertical y horizontal y las secciones transversales se encuentran en el anexo 5.

11.1. Dimensionamiento y diseño preliminar de la intersección.

En la Figura 14 se muestra el dimensionamiento y diseño digital de la alternativa a desnivel planteada para soportar un tránsito proyectado a 20 años.

Figura 14. Dimensionamiento y diseño preliminar alternativa 2, vía 40- calle 58.



11.2. Modelación y nivel de servicio alternativa 2 situación futura

Se efectuó la micro-simulación en el software TSIS con el fin de determinar el nivel de servicio para cada uno de los periodos de diseño, como parámetro principal de calificación se tuvo en cuenta la velocidad promedio de tramo como se indica en la Tabla 11. El nivel de servicio que caracteriza cada acceso está dado por el tramo más crítico que lo conforma, la simulación permite identificar gráficamente estos tramos como se muestra en el anexo 5.

Tabla 11. Niveles de servicio de la alternativa 2, vía 40- calle 58.

Acceso	Velocidad [Km/h]	Velocidad [millas/h]	Nivel de servicio	
Nivel de Servicio para el año 5				
NORTE	19	12	D	B
SUR	29	18	C	
OCCIDENTE	40	25	B	
ORIENTE	34	21	B	
Nivel de Servicio para el año 10				
NORTE	19	12	D	B
SUR	29	18	C	
OCCIDENTE	38	24	B	
ORIENTE	32	20	B	
Nivel de Servicio para el año 15				
NORTE	19	12	D	C
SUR	30	19	C	
OCCIDENTE	35	22	B	
ORIENTE	34	21	B	
Nivel de Servicio para el año 20				
NORTE	19	12	D	C
SUR	29	18	C	
OCCIDENTE	29	18	C	
ORIENTE	31	19	C	

El nivel de servicio “B” para los años 5 y 10 se considera muy bueno, y el nivel de servicio “C” para los años 15 y 20 se considera aceptable. Hay que resaltar que el acceso Norte tiene señal de PARE; además, su flujo vehicular es bajo, por lo que su velocidad y nivel de servicio pueden tomarse como aceptables.

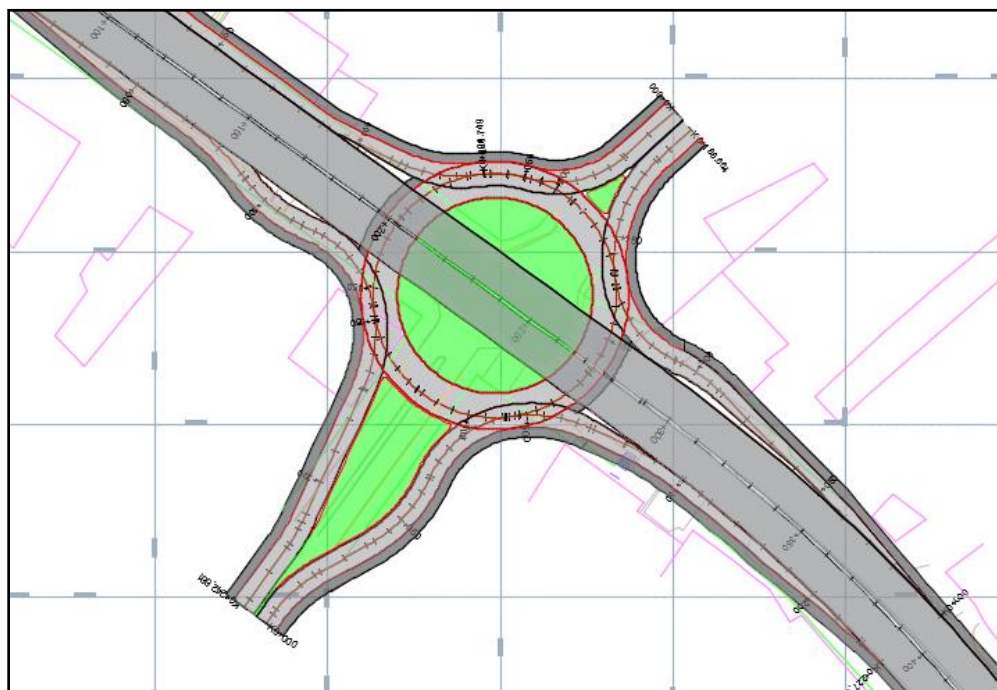
12. ALTERNATIVA 3. INTERSECCIÓN A DESNIVEL CON GLORIETA VÍA 40- CALLE 58.

La alternativa 3 consiste en elevar y separar el flujo vehicular proveniente de la vía 40, la cual presenta el mayor flujo vehicular. Los parámetros utilizados: velocidad de diseño, vehículo de diseño, peralte máximo, radio mínimo de giro, ancho de carril, pendiente longitudinal, curvas verticales, peraltes, bombeos, diseño de los alineamientos vertical y horizontal y las secciones transversales se encuentran en el anexo 6.

12.1. Dimensionamiento y diseño preliminar de la intersección

En la Figura 15 se muestra el dimensionamiento y diseño digital de la alternativa a desnivel planteada para soportar un tránsito proyectado a 20 años.

Figura 15. Dimensionamiento y diseño preliminar alternativa 3, vía 40- calle 58.



Fuente: Elaboración propia, software AutoCAD

12.2. Modelación y nivel de servicio alternativa 3 situación futura

La micro-simulación en el software TSIS determina el nivel de servicio para los respectivos periodos de diseño como se indica en la Tabla 12. El nivel de servicio en esta intersección puede estar controlado por los parámetros de velocidad promedio o control delay dependiendo donde aparezcan los tramos críticos, la simulación permite identificar gráficamente estos tramos como se muestra en el anexo 6.

Tabla 12. Niveles de servicio de la alternativa 3, vía 40- calle 58.

Acceso	Velocidad [Km/h]	Velocidad [millas/h]	Control Delay [seg/vehículo]	Nivel de servicio	
Nivel de Servicio para el año 5					
NORTE	26	16	2.2	A	A
SUR	31	19.4	1.1	A	
OCCIDENTE	35	22.2	0.4	A	
ORIENTE	21	12.9	3.1	A	
Nivel de Servicio para el año 10					
NORTE	21	13.2	3.7	A	A
SUR	30	18.8	1.2	A	
OCCIDENTE	35	21.5	0.5	A	
ORIENTE	21	13.1	3.2	A	
Nivel de Servicio para el año 15					
NORTE	17	10.5	5.6	A	B
SUR	28	17.2	1.9	A	
OCCIDENTE	41	25.3	0.5	B	
ORIENTE	41	25.4	5.4	B	
Nivel de Servicio para el año 20					
NORTE	15	9.4	7	B	B
SUR	26	15.7	2.5	A	
OCCIDENTE	39	24	0.6	B	
ORIENTE	38	23.7	6.8	B	

El nivel de servicio de esta intersección es bastante satisfactorio, hasta los 10 años permanece todos sus tramos en un nivel “A”, y para los siguientes años el nivel también continua siendo bueno porque no disminuye del nivel “B”.

13. MEJOR ALTERNATIVA PARA LA INTERSECCION VÍA 40 - CALLE 58.

Para realizar una comparación de las alternativas de solución se elaboró la Tabla 13, que resume el nivel de servicio en cada periodo de tiempo modelado.

Tabla 13. Resumen nivel de servicio vía 40 - calle 58.

Alternativa	Solución	Nivel de servicio			
		5 años	10 años	15 años	20 años
1	Semaforizada	B	C	C	C
2	A desnivel	B	B	B	C
3	A desnivel + glorieta	A	A	B	B

De acuerdo con esta información se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

En la alternativa 1 los niveles de servicio son bajos, solo en los primeros 5 años mantiene un nivel “B” y en los próximos mantiene un nivel “C”. esta alternativa requiere demasiados carriles debido al sistema de semáforos adoptado para lo cual la infraestructura existente es insuficiente y requiere la compra de predios, resultando poco eficaz.

La alternativa 2 tiene un nivel de servicio aceptable, en un periodo de 15 años mantiene un nivel “B” y en el próximo un nivel “C”, su nivel de servicio se obtuvo evaluando la velocidad desarrollada en los diferentes tramos críticos de los elementos que conforman la intersección; los resultados positivos se obtuvieron elevando los giros a la izquierda con mayores volúmenes vehiculares por lo cual su construcción aprovecha mucho más la infraestructura vial existente que la alternativa 1, ya que no es necesario añadir carriles adicionales a excepción de los carriles de incorporación. Como restricciones prohíbe algunos de los movimientos del acceso Norte con flujos demasiado bajos que pueden realizarse sin dificultad en la intersección siguiente.

La alternativa 3 tiene un nivel de servicio excelente, en los primeros 10 años mantiene un nivel “A” y en los próximos un nivel “B”, muy superior a las otras alternativas; estos resultados positivos se obtuvieron elevando los flujos más altos provenientes de la vía 40 y conduciendo los demás movimientos a una glorieta, entre sus ventajas esta solución no restringe ningún tipo de movimiento, permite retornos y además hay que considerar que la alternativa aprovecha al máximo la infraestructura vial existente.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, desde el punto de vista geométrico y funcional, la alternativa 3 es la más conveniente para solucionar los problemas de accidentalidad y de tránsito de la intersección comprendida entre la vía 40 y calle 58, sus planos se presentan en el anexo 7.

14. NIVEL DE SERVICIO SITUACIÓN ACTUAL VÍA 40-CARRERA 46.

La intersección entre la vía 40 y carrera 46 está constituida por cinco accesos de llegada, a los cuales se les calcula los tiempos de demoras promedio obtenidos del análisis de nodos del software TSIS y comparándolos con los criterios de nivel de servicio para intersección con control de semáforos del manual “HCM-2010” de la Tabla 6.

Teniendo en cuenta dichos parámetros se presentan los resultados obtenidos en la simulación de nodos del programa TSIS en la Tabla 14, en dicha tabla se puede encontrar los datos de “Control Delay” que representa la demora promedio por vehículo [s/veh], y los datos de “STOP” representan el porcentaje de vehículos que tienen que detenerse [%].

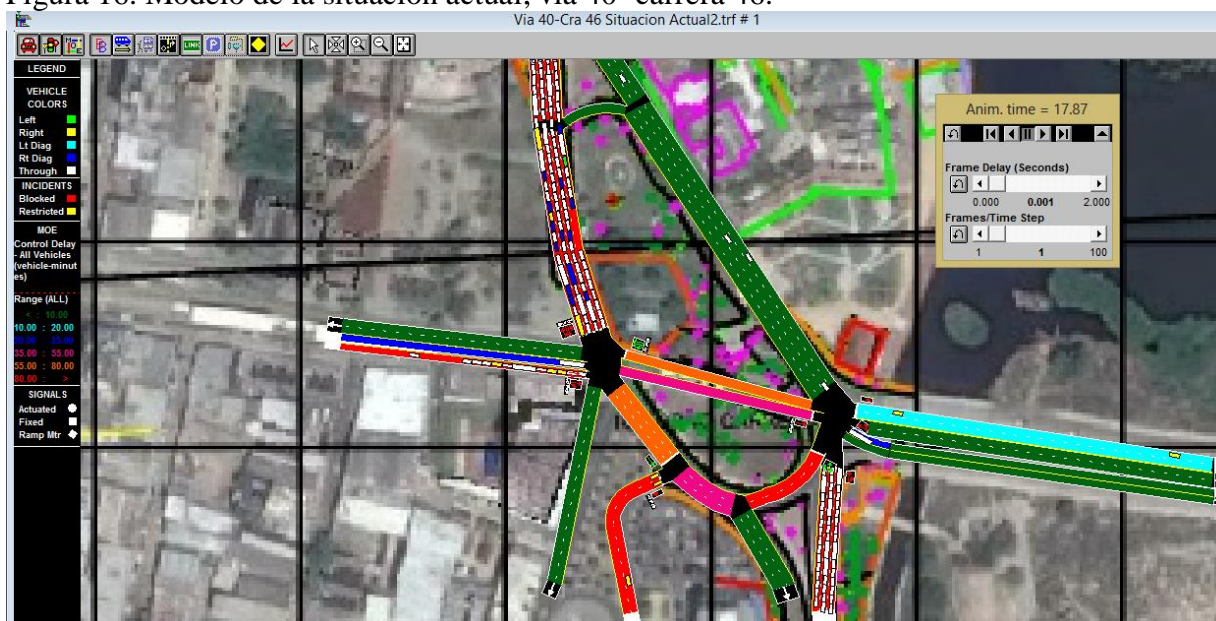
Tabla 14. Niveles de servicio de la situación actual, vía 40- carrera 46.

Acceso	Control Delay [s/veh]	Stop [%]	Velocidad [Km/h]	Nivel de servicio
NORTE VIA 40	171.5	58	2.0	F
SUR CALLE 34	38.3	89	7.0	D
SUR CALLE 30	136.7	99	2.1	F
ORIENTE C. PORTUARIO	40.5	84	3.1	D
OCCIDENTE CRA 46	44.3	81	8.2	D

Elaboración propia, Software TSIS.

Con el fin de visualizar de manera gráfica el comportamiento del flujo vehicular de la intersección, se han tomado las velocidades de viaje y se les ha asignado colores para su identificación como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Modelo de la situación actual, vía 40- carrera 46.



Los niveles de servicio son de denominación “F” para la vía 40 y la calle 30 y para los otros accesos es “D”, estos niveles tan bajos se presentan porque la capacidad de la intersección semaforizada no es suficiente para garantizar un tránsito continuo y seguro para los volúmenes elevados de la vía 40 y calle 30, e incluso genera tráfico y problemas de demora en toda la red vial adyacente.

Estudiando la situación actual y teniendo en cuenta las proyecciones de tránsito se plantean dos alternativas de solución:

- Alternativa 1: Intersección a desnivel.
- Alternativa 2: Intersección a desnivel con glorieta.

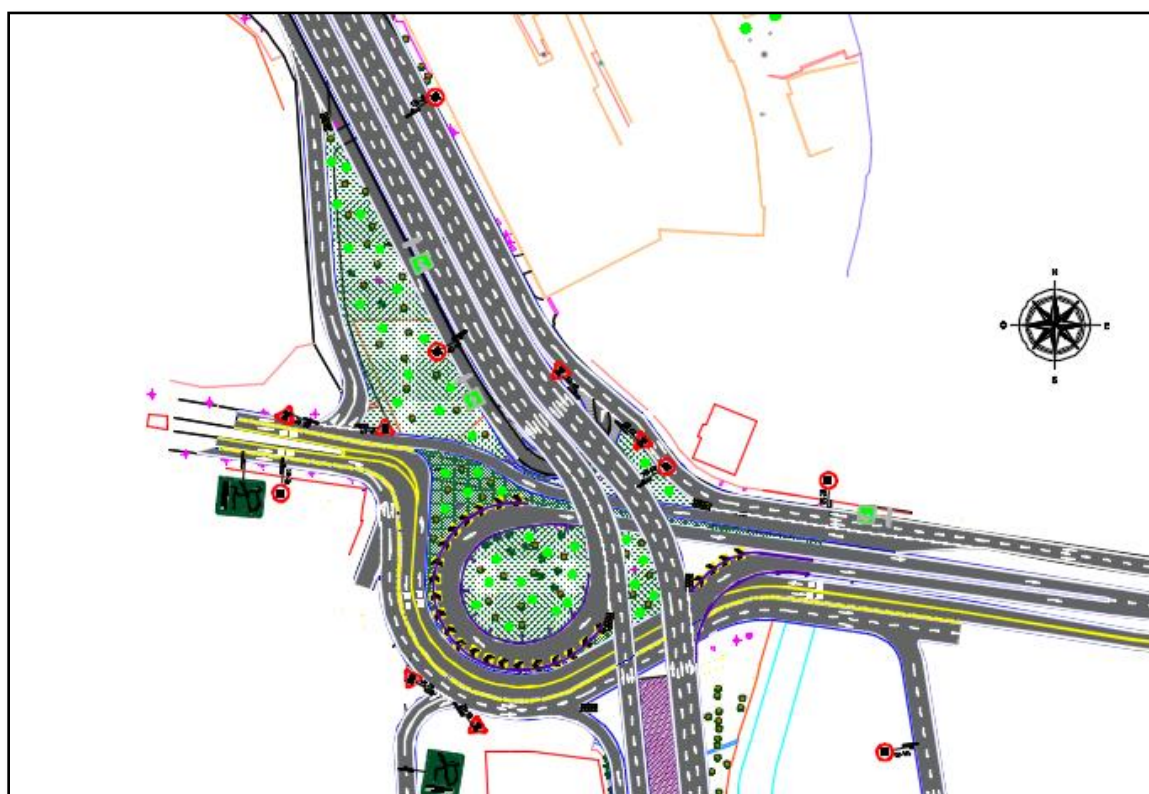
15. ALTERNATIVA 1. INTERSECCIÓN A DESNIVEL VÍA 40-CARRERA 46.

La alternativa 1 consiste en elevar y separar el flujo vehicular proveniente de la vía 40, la cual presenta el mayor flujo vehicular. Los parámetros utilizados: velocidad de diseño, vehículo de diseño, peralte máximo, radio mínimo de giro, ancho de carril, pendiente longitudinal, curvas verticales, peraltes, bombeos, diseño de los alineamientos vertical y horizontal y las secciones transversales se encuentran en el anexo 8.

15.1. Dimensionamiento y diseño preliminar de la intersección

En la Figura 17 se muestra el dimensionamiento y diseño digital de la alternativa a desnivel planteada para soportar un tránsito proyectado a 20 años.

Figura 17. Dimensionamiento y diseño preliminar alternativa 1, vía 40- carrera 46.



Fuente: Elaboración propia, software AutoCAD

15.2. Modelación y nivel de servicio alternativa 1 situación futura

Con el diseño geométrico y las proyecciones de tránsito se efectuó una micro-simulación en el software VISIM, con el fin de determinar el nivel de servicio a los 5, 10, 15 y 20 años indicado en la Tabla 15. El nivel de servicio que caracteriza cada acceso está dado por el tramo más crítico que lo conforma, la simulación permite identificar gráficamente estos tramos como se muestra en el anexo 8.

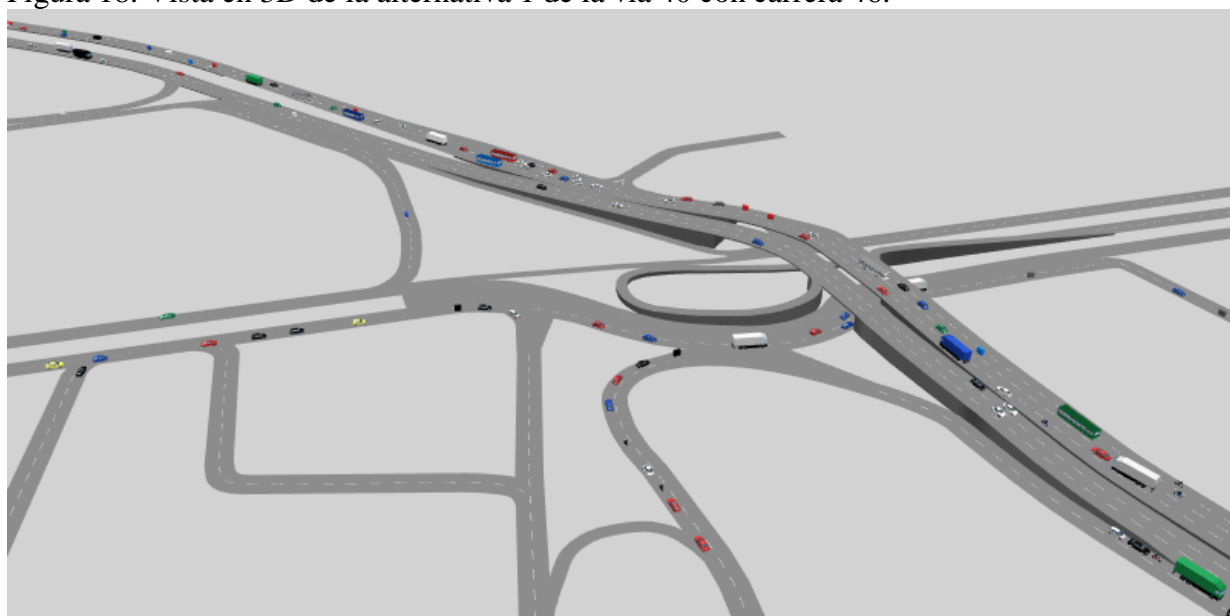
Tabla 15. Niveles de servicio de la alternativa 1, vía 40- carrera 46.

Acceso	Velocidad [Km/h]	Velocidad [millas/h]	Nivel de servicio	
Nivel de Servicio para el año 5				
NORTE VIA 40	44	27.6	A	A
SUR CALLE 34	42	26.3	A	
SUR CALLE 30	42	26.4	A	
ORIENTE C. PORTUARIO	45	28.1	A	
OCCIDENTE CRA 46	44	27.8	A	
Nivel de Servicio para el año 10				
NORTE VIA 40	44	27.4	A	A
SUR CALLE 34	42	26	A	
SUR CALLE 30	42	26.1	A	
ORIENTE C. PORTUARIO	45	27.9	A	
OCCIDENTE CRA 46	44	27.7	A	
Nivel de Servicio para el año 15				
NORTE VIA 40	43	26.6	A	B
SUR CALLE 34	32	19.8	C	
SUR CALLE 30	36	22.5	B	
ORIENTE C. PORTUARIO	43	26.8	A	
OCCIDENTE CRA 46	43	26.5	A	
Nivel de Servicio para el año 20				
NORTE VIA 40	42	26.4	A	C
SUR CALLE 34	22	13.7	D	
SUR CALLE 30	30	18.9	C	
ORIENTE C. PORTUARIO	42	26.5	A	
OCCIDENTE CRA 46	42	26.1	A	

La solución propuesta para la Calle 30 con Vía 40, presenta niveles de servicio muy buenos, esto se debe a que se elimina la glorieta actual de la carrera 50 debido a que el alto volumen vehicular que llega a ella, queda detenido por unos segundos y no logra evacuar la glorieta con la rapidez suficiente y debido a esto, se generan colas que hacen fallar la solución con el paso a desnivel desde el año 0. El retorno en sentido Norte – Norte (ruta hacia Las Flores), se realiza pasando bajo el puente, mientras que el retorno en sentido Sur – Sur (hacia Soledad), se debe realizar con giros izquierdos de las vías entre la Carrera 50 y la Carrera 54 o Calle 45. En caso de que se considere necesario mantener la glorieta para permitir con mayor facilidad los retornos en este punto, se debe ampliar el radio de la misma y simular la solución propuesta junto con la glorieta, para establecer el radio apropiado que permita que el volumen vehicular que llegue a este punto pueda ser evacuado con mayor rapidez.

A continuación, en la Figura 18 se presenta una vista en 3D de la solución propuesta:

Figura 18. Vista en 3D de la alternativa 1 de la vía 40 con carrera 46.



Fuente: Elaboración propia, Software VISIM

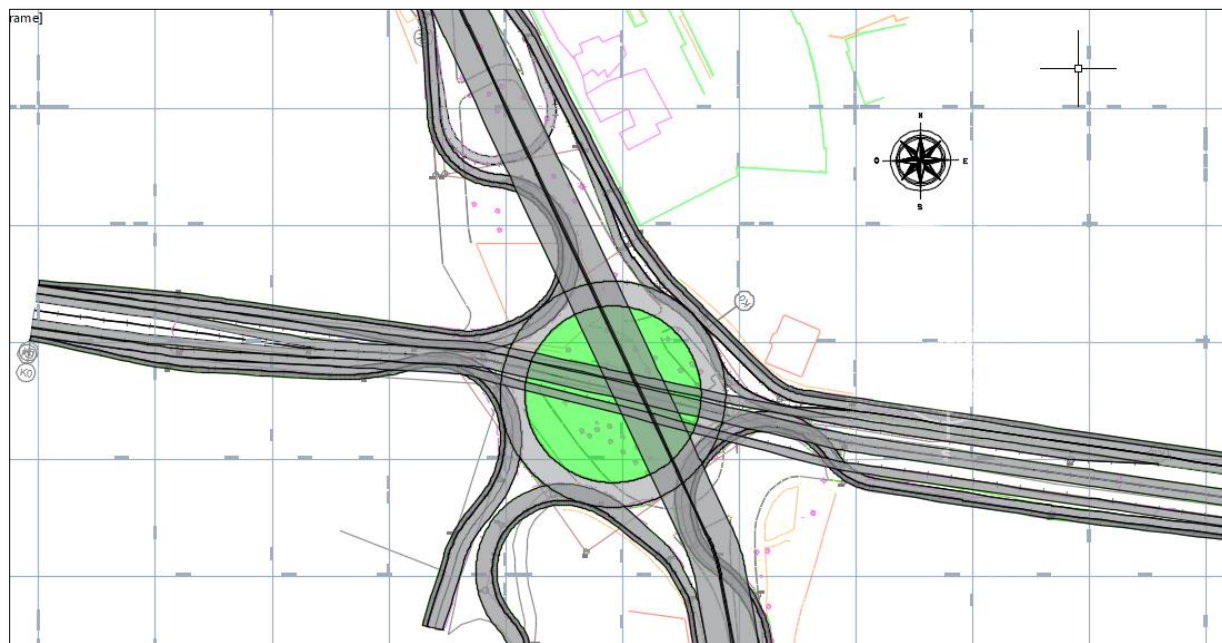
16. ALTERNATIVA 2. INTERSECCIÓN A DESNIVEL CON GLORIETA VÍA 40- CARRERA 46.

La alternativa 2 consiste en elevar y dar prioridad al flujo vehicular proveniente de la vía 40, la cual presenta el mayor flujo vehicular y también elevar y dar prioridad al flujo proveniente de la carrera 46, por la cual pasa las rutas de Transmetro de Barranquilla. Los parámetros utilizados: velocidad de diseño, vehículo de diseño, peralte máximo, radio mínimo de giro, ancho de carril, pendiente longitudinal, curvas verticales, peraltes, bombeos, diseño de los alineamientos vertical y horizontal y las secciones transversales se encuentran en el anexo 9.

16.1. Dimensionamiento y diseño preliminar de la intersección

En la Figura 19 se muestra el dimensionamiento y diseño digital de la alternativa a desnivel planteada para soportar un tránsito proyectado a 20 años.

Figura 19. Dimensionamiento y diseño preliminar alternativa 2, vía 40- carrera 46.



Fuente: Elaboración propia, software AutoCAD

16.2. Modelación y nivel de servicio alternativa 2, situación futura

Se efectuó una micro-simulación en el software TSIS, con el fin de determinar el nivel de servicio para cada uno de los periodos de diseño, como se indica en la Tabla 16. El nivel de servicio que caracteriza cada acceso está dado por el tramo más crítico que lo conforma. La simulación permite identificar gráficamente estos tramos, como se muestra en el anexo 9.

Tabla 16. Niveles de servicio de la alternativa 2, vía 40- carrera 46.

Acceso	Velocidad [Km/h]	Velocidad [millas/h]	Nivel de servicio	
Nivel de Servicio para el año 5				
NORTE VIA 40	29	17.9	C	B
SUR CALLE 34	36	22.5	B	
SUR CALLE 30	31	19	C	
ORIENTE C. PORTUARIO	34	21.2	B	
OCCIDENTE CRA 46	32	19.6	C	
Nivel de Servicio para el año 10				
NORTE VIA 40	28	17.7	C	C
SUR CALLE 34	36	22.3	B	
SUR CALLE 30	26	16.3	C	
ORIENTE C. PORTUARIO	34	21	B	
OCCIDENTE CRA 46	31	19.2	C	
Nivel de Servicio para el año 15				
NORTE VIA 40	26	16.4	C	C
SUR CALLE 34	35	21.5	B	
SUR CALLE 30	24	14.8	C	
ORIENTE C. PORTUARIO	33	20.21	B	
OCCIDENTE CRA 46	29	18.14	C	
Nivel de Servicio para el año 20				
NORTE VIA 40	16	9.7	E	C
SUR CALLE 34	33	20.5	B	
SUR CALLE 30	21	13.1	D	
ORIENTE C. PORTUARIO	31	19.4	C	
OCCIDENTE CRA 46	30	18.6	C	

La alternativa no ofrece los niveles de servicio esperados. La entrada y salida del acceso Norte presentan niveles de servicio muy bajos, lo que indica que la vía 40 hasta el año 15 tiene un buen

funcionamiento, pero para el año 20 necesitará un carril adicional que mejore las condiciones de circulación.

Otro punto crítico es el acceso sur, donde la entrada de la calle 30 y la salida del corredor portuario están muy cercanas entre sí, y la longitud de entrecruzamiento es insuficiente, arrojando a través de los años modelados unas velocidades bajas.

17. MEJOR ALTERNATIVA PARA LA INTERSECCIÓN VÍA 40 - CARRERA 46.

Para realizar una comparación de las alternativas de solución se elaboró la Tabla 17, que resume el nivel de servicio en cada periodo de tiempo modelado.

Tabla 17. Resumen nivel de servicio vía 40 - carrera 46.

Alternativa	Solución	Nivel de servicio			
		5 años	10 años	15 años	20 años
1	A desnivel	A	A	B	C
2	A desnivel con glorieta	B	C	C	C

La alternativa 1 cuenta con mejores niveles de servicio, esto fue posible gracias a las siguientes consideraciones: se elevó la calzada principal, en este caso la vía 40 - calle 30, la cual tiene los cruces directos con mayores volúmenes vehiculares; permite los retornos del acceso norte de la vía 40 por debajo del puente; deja dos carriles para el flujo continuo del transporte público Transmetro; deja un flujo continuo para la carrera 46 y el corredor portuario; y elimina la glorieta de la carrera 50, ya que esta provocaba colas vehiculares que afectaban el nivel de servicio.

En la alternativa 2 los niveles de servicio son regulares. Esta opción tiene como ventaja que permite realizar todos los movimientos posibles gracias a la glorieta; sin embargo, también hay que considerar que los tramos críticos se presentaban en el tránsito rotatorio de la entrada y salida de esta, con velocidades relativamente bajas con respecto a lo esperado. La alternativa busca dar prioridad mediante pasos a desnivel al tránsito proveniente de la vía 40 y carrera 46, lo que genera una elevada inversión.

Teniendo en cuenta lo anterior, desde el punto de vista geométrico y funcional, la alternativa 1 es la más conveniente para solucionar los problemas de accidentalidad y de tránsito de la intersección comprendida entre la vía 40 y carrera 46; los planos se presentan en el anexo 10.

18. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL TRÁNSITO PEATONAL

El tránsito peatonal hace parte integral del diseño de la alternativa de solución; se busca principalmente dar seguridad a los peatones que desean cruzar la vía, reduciendo y previniendo los riesgos de atropellos.

De acuerdo a lo anterior se propone un diseño en armonía con el entorno y accesible para cualquier persona, manteniendo siempre los requisitos de seguridad estructural y economía en su realización. Así, considerando las condiciones y características del tránsito peatonal y vehicular, se presenta la mejor alternativa para el tránsito peatonal en cada intersección.

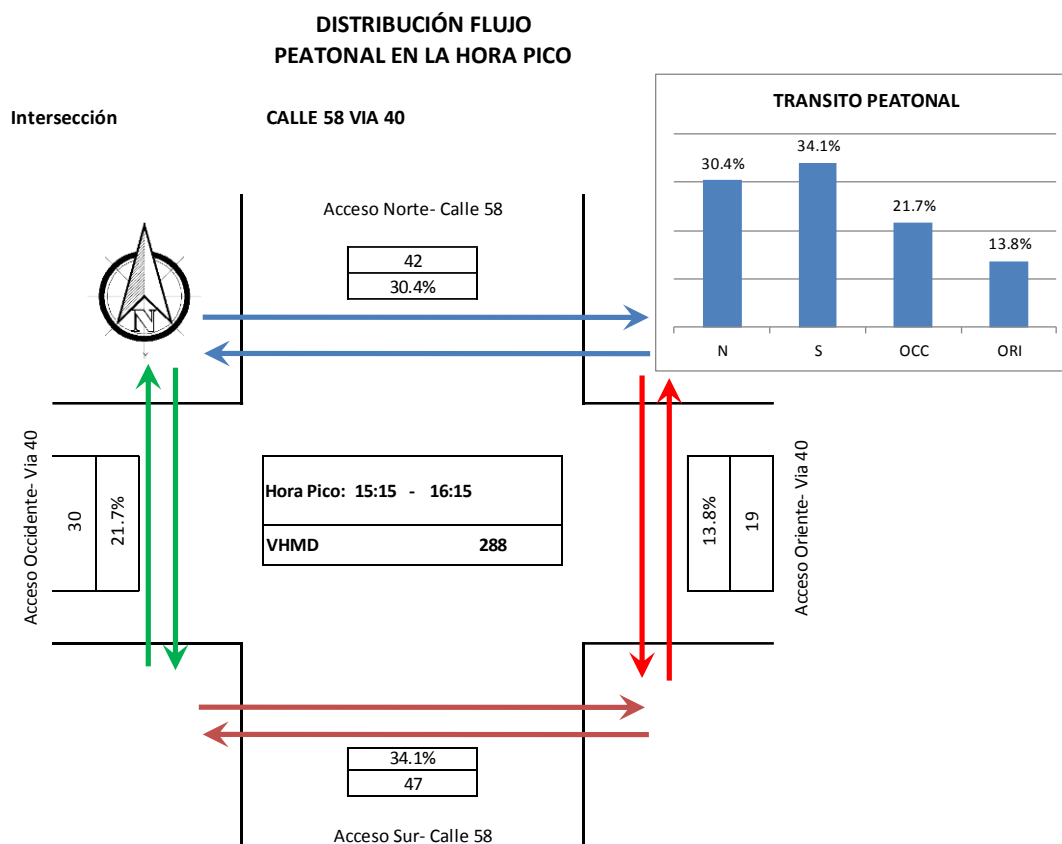
18.1. Alternativa peatonal vía 40- calle 58

Debido a su forma, la glorieta dificulta la movilidad y fluidez de los cruces peatonales cercanos a los ramales de entrada y salida vehicular. Para solucionar esto, se garantiza la posibilidad de ser transitada por la cara externa en todo su perímetro y todas sus boca-calles estarán conectadas por medio de un sistema de sendas perpendiculares al eje de estas ubicadas a una distancia prudencial, donde los peatones tienen prioridad sobre los vehículos que se aproximan.

Para proveer el mejor dispositivo o tipología estructural se analiza el grado de conflicto que presentan los movimientos o flujos peatonales y vehiculares, teniendo en cuenta los criterios y metodología del Manual de señalización vial 2015.

El conteo de los peatones se realizó en tramos de 15 minutos durante un periodo de 12 horas comenzando desde las 7:45 a.m. La información se presenta en la Figura 20, que muestra el volumen máximo horario peatonal que pasa por cada acceso, siendo mayor el flujo de los accesos Norte y Sur que atraviesan la calle 58.

Figura 20. Distribución flujo peatonal en la hora pico de la calle 58 con via 40.



Se agrupó el tránsito peatonal en periodos estándares de una hora, y se cruzó esta información con los conteos del tránsito vehicular, para determinar los cuatro periodos críticos que se presentan en los accesos, como se indica en Tabla 18.

Tabla 18. Flujos de peatones Vs. vehículos por hora de la vía 40 con calle 58.

PERIODO		ACCESO NORTE			ACCESO SUR		
		Volúmenes		pv ²	Volúmenes		pv ²
		Peatones/h (p)	Veh/h (v)		Peatones/h (p)	Veh/h (v)	
7:00	- 8:00	40	9	3240	46	313	4506574
8:00	- 9:00	40	13	6760	37	268	2657488
9:00	- 10:00	30	18	9720	27	210	1190700
11:00	- 12:00	38	27	27702	32	188	1131008
12:00	- 13:00	57	87	431433	42	257	2774058
13:00	- 14:00	39	26	26364	44	196	1690304
14:00	- 15:00	46	22	22264	59	195	2243475
16:00	- 17:00	36	23	19044	25	176	774400

PERIODO			ACCESO NORTE			ACCESO SUR		
			Volúmenes		pv ²	Volúmenes		pv ²
			Peatones/h (p)	Veh/h (v)		Peatones/h (p)	Veh/h (v)	
17:00	-	18:00	58	80	371200	46	199	1821646
18:00	-	19:00	58	22	28072	33	240	1900800
PERIODO			ACCESO OCCIDENTE			ACCESO ORIENTE		
			Volúmenes		pv ²	Volúmenes		pv ²
			Peatones/h (p)	Veh/h (v)		Peatones/h (p)	Veh/h (v)	
7:00	-	8:00	31	361	4039951	13	222	640692
8:00	-	9:00	28	391	4280668	20	213	907380
9:00	-	10:00	68	312	6619392	6	203	247254
11:00	-	12:00	46	233	2497294	32	216	1492992
12:00	-	13:00	78	233	4234542	45	278	3477780
13:00	-	14:00	43	192	1585152	38	178	1203992
14:00	-	15:00	62	319	6309182	32	158	798848
16:00	-	17:00	43	270	3134700	25	232	1345600
17:00	-	18:00	80	278	6182720	29	293	2489621
18:00	-	19:00	47	292	4007408	27	247	1647243

Teniendo en cuenta los periodos críticos anteriores se elaboró la Tabla 19, que contiene las proyecciones a 5, 10, 15 y 20 años, y se estableció el mejor dispositivo de control para el tránsito peatonal.

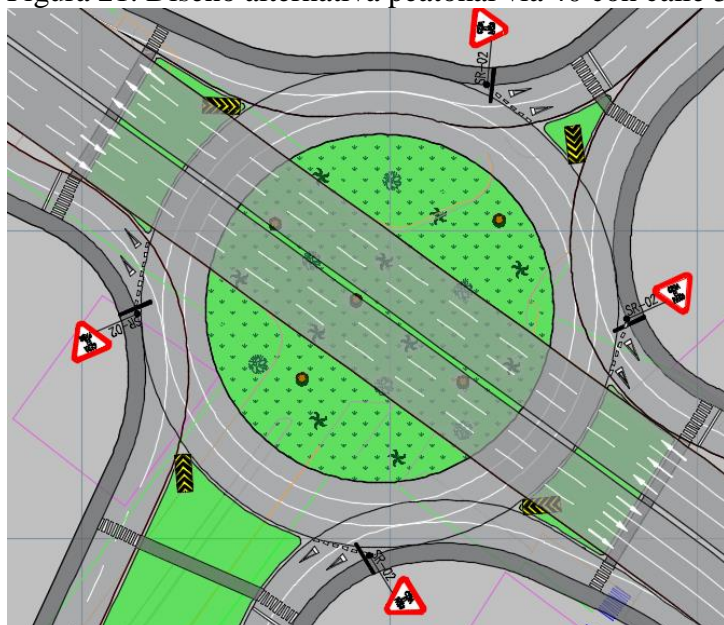
Tabla 19. Determinación de dispositivos según relación PV² para la vía 40 con calle 58.

ACCESO	Volúmenes		pv ²	Recomendación preliminar
	Peatones/h (p)	Veh/h (v)		
Relación PV² situación actual				
NORTE	53	54	1.54E+05	Paso cebra
SUR	46	258	3.07E+06	
OCCIDENTE	60	325	6.28E+06	
ORIENTE	33	259	2.22E+06	
Relación PV² proyectada a 5 años				
NORTE	63	64	2.58E+05	Paso cebra
SUR	55	307	5.14E+06	
OCCIDENTE	71	386	1.05E+07	
ORIENTE	39	307	3.72E+06	
Relación PV² proyectada a 10 años				
NORTE	74	76	4.32E+05	Paso cebra

ACCESO	Volúmenes		pv ²	Recomendación preliminar
	Peatones/h (p)	Veh/h (v)		
SUR	65	364	8.61E+06	
OCCIDENTE	84	458	1.76E+07	
ORIENTE	47	365	6.24E+06	
Relación PV² proyectada a 15 años				
NORTE	88	90	7.23E+05	Paso cebra
SUR	77	433	1.44E+07	
OCCIDENTE	100	544	2.96E+07	
ORIENTE	56	433	1.04E+07	
Relación PV² proyectada a 20 años				
NORTE	105	107	1.21E+06	Paso cebra
SUR	92	514	2.42E+07	
OCCIDENTE	118	647	4.95E+07	
ORIENTE	66	514	1.75E+07	

En todos los periodos de diseño el dispositivo de control que garantiza seguridad y movilidad del transeúnte es el paso cebra, se realizó el diseño de éste teniendo en cuenta los parámetros especiales para glorieta señalados en el manual de señalización 2015 y se obtuvo el diseño que se muestra en la Figura 21 donde los pasos cebras pasan por debajo del puente a una distancia prudencial de la rotonda.

Figura 21. Diseño alternativa peatonal vía 40 con calle 58.



18.2. Alternativa peatonal vía 40 con carrera 46

En la vía 40 con carrera 46 se utilizó la misma metodología, que se recoge en la Tabla 20. El dispositivo de control para el tránsito peatonal hasta el año 15 es el paso cebra.

Tabla 20. Determinación de dispositivos según relación PV^2 para la vía 40 con carrera 46.

ACCESO	Volúmenes		pv ²	Recomendación preliminar
	Peatones/h (p)	Veh/h (v)		
Relación PV2 situación actual				
NORTE VIA 40	5	270	3.65E+05	Paso cebra
SUR CALLE 34	22	243	1.30E+06	
SUR CALLE 30	22	307	2.07E+06	
ORIENTE C. PORTUARIO	25	287	2.06E+06	
OCCIDENTE CRA 46	46	249	2.85E+06	
Relación PV2 proyectada a 5 años				
NORTE VIA 40	6	321	6.11E+05	Paso cebra
SUR CALLE 34	26	289	2.18E+06	
SUR CALLE 30	26	365	3.47E+06	
ORIENTE C. PORTUARIO	30	341	3.45E+06	
OCCIDENTE CRA 46	55	296	4.78E+06	
Relación PV2 proyectada a 10 años				
NORTE VIA 40	7	381	1.02E+06	Paso cebra
SUR CALLE 34	31	343	3.65E+06	
SUR CALLE 30	31	433	5.82E+06	
ORIENTE C. PORTUARIO	35	405	5.78E+06	
OCCIDENTE CRA 46	65	351	8.01E+06	
Relación PV2 proyectada a 15 años				
NORTE VIA 40	8	452	1.71E+06	Paso cebra
SUR CALLE 34	37	407	6.11E+06	
SUR CALLE 30	37	514	9.75E+06	
ORIENTE C. PORTUARIO	42	481	9.68E+06	
OCCIDENTE CRA 46	77	417	1.34E+07	
Relación PV2 proyectada a 20 años				
NORTE VIA 40	10	537	2.87E+06	Semáforo peatonal con botonera
SUR CALLE 34	44	484	1.02E+07	
SUR CALLE 30	44	611	1.63E+07	
ORIENTE C. PORTUARIO	50	571	1.62E+07	
OCCIDENTE CRA 46	92	495	2.25E+07	

- **Evaluación peatonal del andén de la vía 40 con carrera 46**

Para la evaluación de este andén, se tuvo en cuenta la metodología del Highway Capacity Manual 2010 (HCM), con aforos en el acceso Norte, acceso Sur, acceso Oriente y en el acceso Occidente. El volumen peatonal pico en 15 min obtenido para este andén es:

Volumen peatonal en 15 min pico total:

- V_{15} en acceso Sur Cl 30 con carrera 46: 22 peatones
- V_{15} en acceso Oriente Cl 30 con carrera 46: 25 peatones
- V_{15} en acceso Norte Cl 30 con carrera 46: 5 peatones
- V_{15} en acceso Occidente Cl 30 con carrera 46: 46 peatones

Al sumar estos volúmenes peatonales se obtiene que el V_{15} a utilizar para la metodología HCM 2010 es de 98 peatones.

El ancho de andenes en la zona es de 1,2 m. Como se mencionó anteriormente, el ancho total de una infraestructura peatonal no es el ancho efectivamente utilizado para que el peatón camine libremente. Se asumirá que de 1,2 m sólo se usarán 0,90 m para el tránsito peatonal. Es decir, que el ancho efectivo del andén será de 0,90m (el 75% del ancho total).

$$V_p = \frac{V_{15}}{15 * W_E} = \frac{98 \text{ peat}/\text{min}}{15 * 0,90 \text{ m}} = 7,25 \text{ peatón}/\text{min}/\text{m} \quad (2)$$

Con base en la tabla de HCM10, el nivel de servicio para el andén es B. Para que estos andenes empiecen a presentar dificultades de movilidad (Nivel de servicio D), se requiere que por ellos transiten más de 551 peatones, lo cual no es muy factible que suceda en esa zona.

19. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el cumplimiento de los objetivos también se estableció el anexo 11 para evaluar la seguridad vial y el anexo 12 que contiene el artículo para su respectiva divulgación.

La elección de las dos intersecciones de estudio se basó en los informes de accidentalidad de tránsito brindados por la secretaria de movilidad de la ciudad de Barranquilla, donde éstas dos intersecciones mostraron los índices más altos.

Para el estudio de la problemática de cada intersección y su respectiva alternativa de solución, se ejecutó una evaluación funcional lo que permitió concluir lo siguiente:

- El estudio de tránsito mediante video-cámaras permite un conteo riguroso de los vehículos teniendo en cuenta las maniobras que estos realizan; además, permite el análisis de la problemática y revisión de los conteos, por lo que se consideran óptimas y recomendables para el desarrollo de este tipo de trabajos.
- La intersección de la vía 40 con calle 58 está controlada con señal de PARE, lo que dificulta la maniobra de todos los giros a izquierda, que son la causa de la accidentalidad. Como solución inmediata se plantea colocar semáforos, lo que reduce el nivel de servicio de la vía 40. Por esta razón, como mejor alternativa se plantea una intersección a desnivel con glorieta, que mejora los niveles de servicio, aprovecha mejor la infraestructura existente, reduce la velocidad y la accidentalidad.
- La intersección de la vía 40 con la carrera 46 está controlada con semáforos. Sin embargo, la accidentalidad se debe a los altos volúmenes vehiculares y a las grandes colas que se generan. Para pasar, un vehículo debe esperar dos o tres fases; además, la infraestructura presenta

irregularidades y mala señalización, lo que confunde a los conductores. Todo lo anterior genera niveles de servicio bajos. Teniendo en cuenta esto, se plantea una intersección a desnivel con elevación de los ramales provenientes de la vía 40 y carriles exclusivos para el transporte público urbano. Esta alternativa, además de aumentar los niveles de servicio, aprovecha la infraestructura existente.

- Además de considerar el tránsito vehicular, es importante considerar el peatonal. Los conteos realizados sobre la vía 40 con calle 58 y carrera 46 indican que con la demarcación del paso cebra es suficiente para garantizar la seguridad y movilidad del flujo peatonal. Se debe tener cuidado en el caso de glorietas, que tiene algunas indicaciones adicionales.

20. BIBLIOGRAFÍA

- MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS INVIAS (2008).
- M D Martín Gasulla. (2011). ESTUDIO Y MEJORA DE LA CAPACIDAD Y FUNCIONALIDAD DE GLORIETAS CON FLUJOS DE TRAFICO DESCOMPENSADOS MEDIANTE MICROSIMULACION DE TRAFICO. APLICACIÓN A LA INTERSECCION DE LA CV-500 CON LA CV-401, EN EL SALER (T.M. VALENCIA). Universidad Politécnica de valencia.
- R F Sánchez Osorio, L Y Gil Ángel. (2016). GUIA METODOLOGICA Y MODELAMIENTO DE UNA TURBOGLORIETA TIPO ESTRELLA Y PASO A DESNIVEL EN LA AUTOPISTA SUR CON CALLE 59 SUR, Bogotá, Colombia, Universidad distrital Francisco José de Caldas.
- D. Rafael Sánchez R. (2008). PROYECTO DE CONSTRUCCION DE UNA ROTONDA EN LA CONFLUENCIA DE LA N-630 CON LA N-631. Escuela politécnica superior de Zamora, Universidad de Salamanca.
- L A Bulla Cruz. (2010). METODOLOGIA PARA LA EVALUACION TECNICA Y OPERATIVA DE TURBOGLORIETAS COMO ALTERNATIVA DE INTERSECCION VIAL EN EL AMBITO URBANO. Bogotá. Colombia, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- C P Molina Palacio. (2008). PREDISEÑO GEOMETRICO INTERSECCION AVENIDA KEVIN ANGEL MEJIA- SALIDA NEIRA. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.
- G Arboleda Vélez. (2000). CÁLCULO Y DISEÑO DE GLORIETAS. Segunda edición. Impreso por Cargraphics S.A. – Impresión Digital. Cali, Colombia.
- NCHRP- REPORT 672. (2010) ROUNDABOUTS: AN INFORMATIONAL GUIDE. Secon Edition. U.S. Department at transportation. Federal Highway Administration.
- C U Ramirez, D J Silva M. (2003). METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
- Flahaut, B. (2004). Impact of infrastructure and local environment on road unsafety: Logistic modeling with spatial autocorrelation. Accident Analysis & Prevention, Vol. 36 Issue 6, 1055-1066.
- Marquez, L. G. (2010). Methodology for the Assessment of External Costs of Accidents in Transportation Projects. Ingeniería y Universidad. Vol. 14, No. 1.
- Mendoza Díaz, A., & Rivera Guerra, F. A. (2002). Una metodología para el tratamiento de sitios de alta incidencia de accidentes en carreteras: un ejemplo de aplicación. Instituto mexicano del Transporte, Issue 209, 151.
- Noland, R. B. (2003). Traffic fatalities and injuries: the effect of changes in infrastructure and other trends. Accident Analysis & prevention. Vol. 35, Issue 4, 599-611.