



Universidad
del Cauca

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE MEJORAMIENTO DE DISEÑO GEOMÉTRICO EN LA
INTERSECCIÓN LA VIRGEN UBICADA SOBRE LA VIA AGUAZUL – YOPAL,
MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR AL TÍTULO ACADÉMICO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

**ESTEBAN SÁNCHEZ LLANO
BEATRIZ CAMILA VELASCO MÉNDEZ**

POPAYÁN, 25 DE NOVIEMBRE DEL 2022

**ESTUDIO DE MEJORAMIENTO DE DISEÑO GEOMÈTRICO EN LA
INTERSECCIÓN LA VIRGEN UBICADA SOBRE LA VIA AGUAZUL – YOPAL,
MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO DE POSGRADOS
UNIVERSIDAD DEL CAUCA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR AL TÍTULO ACADÉMICO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

SUSTENTADO POR
ESTEBAN SÁNCHEZ LLANO
BEATRIZ CAMILA VELASCO MÉNDEZ

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO
M. Sc. HERNÁN NOPE RODRIGUEZ

POPAYÁN, 25 DE NOVIEMBRE DEL 2022

Tabla de Contenido

Resumen	9
Abstract	10
CAPÍTULO I.....	11
Introducción.....	11
Descripción del Problema	11
Justificación.....	15
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Alcance.....	17
Marco Teórico	17
Estudio de Volúmenes de Tránsito.....	18
Conteos Volumétricos de Tráfico.....	18
Volumen de Tránsito Absoluto o Totales	18
Volumen de Tránsito Promedio Diario (TPD)	19
Volumen de Tránsito Promedio Horario.....	19
Volumen Horario Máximo y Mínimo.....	19
Tasa de flujo (q).....	19
Demanda	19
Velocidad	20
Estudio Topográfico	20
Modelo digital de terreno – MDT.....	20
Diseño Geométrico.....	21
Intersección Vial.....	21
Señalización Vial.....	21
Seguridad Vial	22
Afectación Predial	22
Área Requerida	22
Área Sobrante	22
Área Remanente.....	22
Descripción de la Intersección de Estudio	22

CAPÍTULO II.....	25
Análisis de Tránsito	25
Caracterización de la Zona de Estudio	25
Recopilación e Identificación de la Información Existente	25
<i>Localización estaciones de conteo No. 1099 y No. 931</i>	26
Recopilación de Información Primaria	27
Trabajo de Campo	27
Organización del estudio.....	27
<i>Movimientos de flujo vehicular – Intersección Monumento a la Virgen</i>	28
Aforos vehiculares	29
<i>Clasificación general de vehículos</i>	30
Procesamiento de la información.....	32
Cálculo de Volúmenes.....	32
Flujo vehicular.....	32
Capacidad	37
CAPÍTULO III	41
Definición de Alternativas de Diseño	41
Alternativa 1.....	41
Alternativa 2.....	43
CAPÍTULO IV	44
Topografía	44
Diseño Geométrico	46
Reconocimiento de la zona del proyecto.....	49
Parámetros de diseño	49
Velocidad de diseño (VTR).....	50
Velocidad de operación.....	51
Vehículo de diseño.....	52
Trayectoria mínima de diseño	53
Sobrecanchos.....	54
Peralte máximo (emax)	55
Radio mínimo de curvatura (R _{emin})	55
Peraltes y transición de peralte	57

Longitud de espirales	57
Entretangencias horizontales	58
Longitud de tangente vertical máxima y mínima	58
Sección transversal de la carretera.....	59
Ancho de Calzada	59
Ancho de Berma	60
Consideraciones de diseño de la Intersección la Virgen	60
Criterios de diseño para intersección La Virgen	69
Carriles de aceleración y desaceleración.....	69
CAPÍTULO V	72
Gestión Predial	72
Verificación de la información catastral del corredor y elaboración de la tira topográfica georreferenciada	73
Investigación técnica, Cuantificación de áreas por predio	73
Investigación socioeconómica	74
CAPÍTULO VI	75
Señalización.....	75
Normativa vigente	75
Señalización Vertical	76
Señales Preventivas (SP).....	76
Señales Reglamentarias (SR)	78
Señales Informativas (SI).....	78
Señalización Horizontal.....	80
Según su forma	80
Según su altura.....	80
Otros dispositivos	81
Referencias	84

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1	12
Ilustración 2	13
Ilustración 3	23
Ilustración 4	24
Ilustración 5	26
Ilustración 6	28
Ilustración 7	30
Ilustración 8	31
Ilustración 9	38
Ilustración 10	43
Ilustración 11	44
Ilustración 12	47
Ilustración 13	54
Ilustración 14	63
Ilustración 16	64
Ilustración 15	65
Ilustración 16	65
Ilustración 17	66
Ilustración 18	67
Ilustración 19	67
Ilustración 20	68
Ilustración 21	71
Ilustración 22	77
Ilustración 23	78
Ilustración 24	79
Ilustración 25	81

Índice de Tablas

Tabla 3	31
Tabla 4	33
Tabla 5	33
Tabla 6	34
Tabla 7	35
Tabla 8	35
Tabla 9	37
Tabla 10	39
Tabla 11	42
Tabla 12	48
Tabla 13	48
Tabla 14	50
Tabla 15	51
Tabla 16	52
Tabla 17	53
Tabla 18	53
Tabla 19	55
Tabla 20	56
Tabla 21	56
Tabla 22	57
Tabla 23	58
Tabla 24	59
Tabla 25	59
Tabla 26	60
Tabla 27	61
Tabla 28	61
Tabla 27	66
Tabla 28	68
Tabla 29	70
Tabla 30	70
Tabla 31	71

Tabla 32	74
Tabla 33	74
Tabla 34	77
Tabla 37	82

Resumen

La Intersección Monumento a la Virgen localizada sobre la Ruta Nacional 6512 del territorio colombiano conecta los municipios de Monterrey y Yopal pasando por el municipio de Aguazul en el Departamento del Casanare; sobre este paso confluyen los flujos de la calle 12 y la calle 15 de Aguazul, así como los flujos del corredor Villavicencio - Yopal, teniendo en su entorno estaciones de servicio, restaurantes y locales comerciales, lo anterior, aunando con la dificultad de cruzamiento de la calzada bidireccional existente y la inexistencia de conexión directa hacia el corregimiento Cerro de la Cruz genera puntos de conflicto en el tráfico vehicular y con ello demoras y colas promedio en el tránsito. En dichas condiciones operativas, y con un desarrollo de la población lo cual representa mayor flujo vehicular se prevé una movilidad insegura e ineficaz, con velocidades bajas y posibles congestiones vehiculares.

Teniendo en cuenta el impacto de la Intersección la Virgen en la conectividad del municipio de Aguazul con la ruta nacional 6512, en el presente proyecto de profundización se analiza la implementación de dos alternativas de diseño geométrico de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Ministerio de Transporte en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS del 2008, proyectadas con el fin de disminuir los conflictos de cruzamiento, permitir la fluidez del tránsito y garantizar a los usuarios de la intersección una movilidad cómoda y segura. Para la selección de la alternativa más conveniente se realiza una evaluación de la afectación predial, para la que se realizará el diseño de señalización que, en conjunto con el diseño geométrico proveerá condiciones de seguridad vial a los usuarios.

Palabras clave: Tráfico vehicular, conexión, movilidad, afectación predial.

Abstract

The Intersection Monument to the Virgin located on National Route 6512 of Colombian territory connects the municipalities of Monterrey and Yopal through the municipality of Aguazul in the Department of Casanare; On this pass the flows of 12th Street and 15th Street of Aguazul converge, as well as the flows of the Villavicencio - Yopal corridor, having in its surroundings service stations, restaurants and commercial premises, the above, combined with the difficulty of crossing the existing two-way road and the lack of a direct connection to the Cerro de la Cruz corregimiento generate points of conflict in vehicular traffic and with it average delays and queues in traffic. Under these operating conditions, and with a development of the population, which represents greater vehicular flow, an unsafe and inefficient mobility is expected, with low speeds and possible vehicular congestion.

Taking into account the impact of the La Virgen Intersection on the connectivity of the municipality of Aguazul with national route 6512, in this deepening project the implementation of two geometric design alternatives is analyzed in accordance with the guidelines established by the Ministerio de Transporte in the Manual de Diseño Geométrico de Carreteras of the INVIAS in 2008, designed to reduce crossing conflicts, allow traffic flow and guarantee users of the intersection comfortable and safe mobility. For the selection of the most convenient alternative, an evaluation of the property affectation is carried out, for which the signage design will be carried out, which, together with the geometric design, will provide road safety conditions for users.

Key word: Vehicular traffic, connection, mobility, property involvement.

CAPÍTULO I

Introducción

La intersección Monumento a la Virgen representa para el casco urbano del Municipio de Aguazul en el departamento del Casanare, el elemento de la infraestructura vial por medio de la cual se realiza la conexión con la Ruta Nacional 6512 que desde el municipio de Monterrey se dirige hasta Yopal, no obstante, con las condiciones actuales de la infraestructura vial y las estructuras existentes se presentan conflictos de entrecruzamiento del tráfico vehicular que alteran el estado de equilibrio de la vía; asimismo de acuerdo con el estudio de análisis de tránsito en el que se proyecta el tránsito futuro que circulará por la intersección en un periodo de 25 años, se prevé un aumento de las situaciones de conflicto relacionadas con congestiones, demoras en el tránsito vehicular, velocidades bajas y riesgos para el tráfico vehicular y peatonal.

Por lo anterior, una vez analizados los posibles conflictos, se evidencia la necesidad de evaluar soluciones de transitabilidad segura y cómoda mediante la proyección de trazados de diseños geométricos que, junto con una adecuada señalización provean condiciones de movilidad segura y cómodas para la población del Municipio de Aguazul, así como para los habitantes del corregimiento del Cerro de la Cruz quienes tendrán una estructura de conexión directa con el corredor principal, lo anterior, corresponde al objetivo del presente trabajo de profundización, en donde se aplican los conocimientos adquiridos durante el proceso de aprendizaje del programa Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres de la Universidad del Cauca.

Descripción del Problema

El casco urbano del municipio de Aguazul en el departamento del Casanare se encuentra unido a la variante localizada sobre la Ruta Nacional 6512 mediante tres intersecciones a nivel, una de ellas está ubicada en inmediaciones del Monumento a la Virgen, sobre la cual confluyen los flujos de la calle 12 y la calle 15, tal como se presenta en Ilustración 1; sobre el sector se encuentran ubicadas estaciones de servicio, así como

restaurantes y locales comerciales que representan accesos a predios y, con ello, puntos de conflicto en el tráfico vehicular.

Ilustración 1

Esquema de movimientos en intersección La Virgen

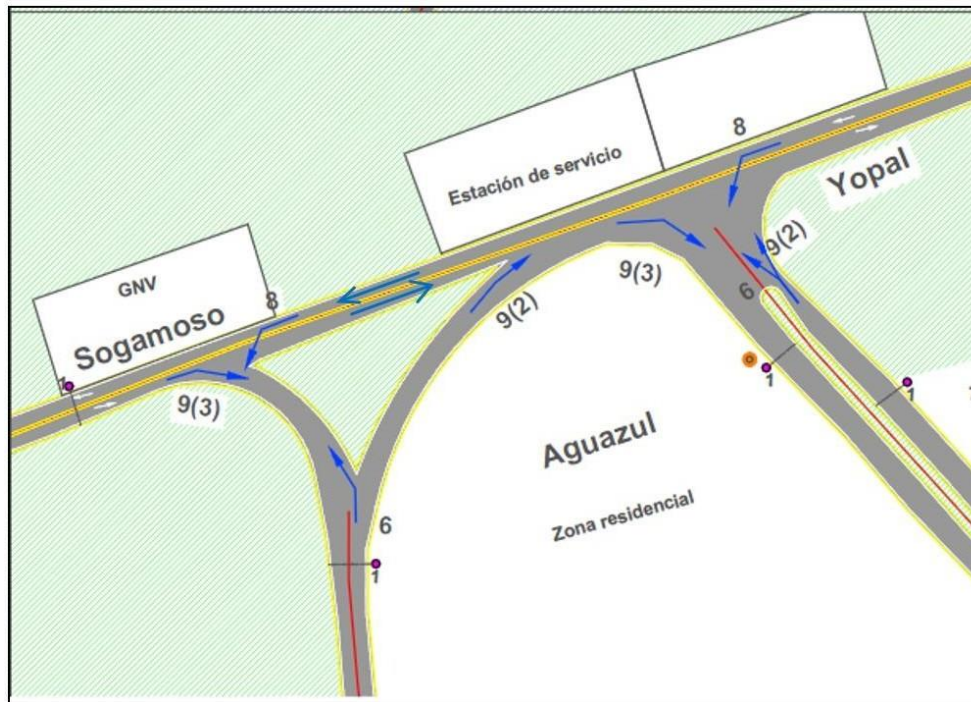


Fuente: Elaboración Propia.

A medida que se aumentan los volúmenes de tránsito en la intersección existente, denominada Monumento a la Virgen, se excede durante un periodo de tiempo la capacidad de la misma, presentándose altas demoras y colas promedio (Guavita et al, 2017), alterándose de esta manera el estado de equilibrio de la vía. En la Ilustración 2 se indican los movimientos y flujos vehiculares que se presentan en la intersección La Virgen y se evidencia los conflictos de entrecruzamiento que presentan algunos movimientos, además de la inexistencia de conexión directa hacia el Cerro de la Virgen.

Ilustración 2

Esquema de movimientos en intersección La Virgen



Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con información aportada por el INVIAS, y tal como se indican en la Tabla 1, en inmediaciones de la Intersección la Virgen durante los años 2012 y 2014 se presentaron 17 accidentes vehiculares, 3 accidentes con muertos que equivale al 17.64% de los accidentes, en su mayoría, los incidentes están relacionados con las condiciones de movilidad y la infraestructura de la misma.

Tabla 1

Accidentes Ruta Nacional 6512 (PR77 – PR 81)

Código Vía	P R	Heridos	Muertos	Clase de accidente	Causas aparentes o probables	Tipo de Vehículo	
6512	7 7	0	0	Choque	Girar bruscamente	Camioneta	Automóvil
6512	7 7	0	0	Choque	Girar bruscamente	Camioneta	
6512	7 7	0	0	Choque	Remolque sin precacución	Camión	

Código Vía	P R	Heridos	Muertos	Clase de accidente	Causas aparentes o probables	Tipo de Vehículo	
6512	7 7	1	0	Choque	Adelantar en curva	Vehículo articulado	Bicicleta
6512	7 7	0	0	Choque	No determinada	Camioneta	Motocicleta
6512	7 9	17	0	Choque	Imprudencia del conductor	Buseta	Camión
6512	8 0	5	0	Choque	Transitar en contravía	Automóvil	Automóvil
6512	8 0	0	0	Choque	No determinada	Camperero	Camioneta
6512	8 0	0	0	Choque	Adelantar invadiendo vía	Camioneta	Camperero
6512	8 0	2	0	Choque	Desobedecer las señales	Camioneta	Motocicleta
6512	8 0	1	1	Choque	Imprudencia del conductor	Motocicleta	Automóvil
6512	8 0	1	0	Choque	Imprudencia del conductor	Bus	Motocicleta
6512	8 0	2	0	Choque	Exceso de velocidad	Motocicleta	
6512	8 1	0	0	Choque	Imprudencia del conductor	Camión	
6512	8 1	5	2	Choque	Imprudencia del conductor	Camperero	
6512	8 1	0	1	Choque	Imprudencia del conductor	Motocicleta	
6512	8 1	0	0	Choque	Imprudencia del conductor	Camión	

Fuente: INVIAS

Teniendo en cuenta esto, si se proyectan condiciones operativas futuras, en donde el municipio tenga un desarrollo avanzado y el flujo vehicular sea mayor, se presentarían congestiones, demoras en el tráfico vehicular por velocidades bajas que ocasionarían tiempos de viaje más largos e incremento de los costos de operación vehicular con respecto a un flujo vehicular libre de atrancamientos (Bull. A.,2003); y habría riesgos para el tráfico peatonal. En ese sentido, la movilidad sería menor, insegura e ineficaz.

Considerando la dificultad de cruzamiento de la calzada bidireccional existente, así

como la falta de infraestructura para peatones o ciclistas, que impide una conectividad segura del municipio de aguazul con el Cerro de la Cruz y el futuro desarrollo del municipio, la alcaldía municipal y la comunidad de Aguazul solicitaron a la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) un ajuste de diseño en la intersección de la Virgen que modificara el diseño previamente realizado por la Concesionaria que tiene a su cargo la infraestructura que desde el municipio de Aguazul se dirige hasta Yopal en el departamento del Casanare, para el cual, se proyectó un paso elevado con el fin de dar continuidad al trazado geométrico entre las Unidades Funcionales 6 y 7, un bicipiente, dos puentes peatonales y retornos en inmediaciones a la intersección, sin embargo, no se tuvo en cuenta la conexión directa con el Cerro de la Cruz.

Justificación

Considerando el impacto que tiene la intersección del Monumento a la Virgen para la conectividad del casco urbano del municipio de Aguazul en el departamento del Casanare con la ruta nacional 6512, así como las restricciones operacionales que impiden el libre desplazamiento de los vehículos que transitan por la misma, la intervención sobre esta intersección con obras de infraestructura y la implementación de alternativas de movilidad sostenibles que disminuyan la congestión de la vía representan medidas necesarias e imperativas para el aumento de su capacidad, las cuales permitirán a su vez la fluidez del tránsito de manera eficaz y segura, así como la disminución de los costos de operación y de las demoras en el tiempo, además de garantizar a los habitantes de la ciudad y usuarios de la vía, una mejor calidad de vida, mediante óptimas condiciones de infraestructura y menores tiempos de desplazamiento (Yang et al, 2012).

De igual forma, se prevé que con la ejecución de obras de estructura vial en la Intersección La Virgen no sólo se mejorará la capacidad de la vía, así mismo, se disminuirán los índices de accidentalidad ya que se presentará mayor interacción entre los peatones y los conductores, lo que permitirá en gran medida aumentar la competitividad y el desarrollo socio económico de la zona considerando las mejoras en la infraestructura (Bull. A., 2003). De esta manera, se garantizará la transitabilidad del corredor con una alternativa de conexión cómoda y segura para el municipio de Aguazul con la capital del

Departamento del Meta, Villavicencio y con la capital del Departamento de Casanare, Yopal, mitigando los problemas de movilidad, capacidad y nivel de servicio y trazado geométrico, considerando una menor afectación predial lo cual, en muchas ocasiones representa uno de los mayores impedimentos en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial (Martínez Estupiñán, Y. et al, 2011), beneficiando con ello a la población del municipio, así como a la del área de influencia del proyecto.

En consideración de lo anterior, el diseño geométrico de la Intersección la Virgen en el municipio de Aguazul representa un enfoque de análisis importante, en el cual se implementarán los campos de estudio relacionados directa e indirectamente en el diseño de una vía, como lo son la movilidad urbana y la seguridad vial, así como los factores sociales y prediales que normalmente se presentan durante el proceso de evaluación y diseño de una vía. Para ello, aplicamos la formación integral recibida correspondiente a diseño geométrico, tránsito, señalización, pavimentos, topografía, construcción, drenaje vial, y formulación y gerencia de proyectos, y considerando las especificaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – INVIAS 2008, Manual de Señalización Vial – INVIAS 2015, así como las variables identificadas en diseños realizados y según las metodologías propuestas en casos de estudio (Baracaldo Ortiz, G. et al, 2016), (Pastran Rojas, A. et al, 2015), (Salatoom, N. et al, 2014).

Objetivos

Objetivo General

Proponer condiciones de operatividad, conectividad, y seguridad vial en la intersección la Virgen del municipio de Aguazul departamento del Casanare, en la cual se cruzan la Ruta Nacional 6512 que desde el municipio de Aguazul conduce a Yopal con las calles 12 y 15.

Objetivos Específicos

- Evaluar mínimo dos (2) alternativas de diseño geométrico en la intersección la Virgen, acorde los lineamientos establecidos en el Manual de Diseño

Geométrico de Carreteras 2008, así como con las recomendaciones de la AASHTO en el Green Book 2018.

- Definir mediante un análisis de afectación predial una (1) alternativa de diseño geométrico de la Intersección la Virgen, y presentar para la alternativa seleccionada un diseño de señalización que provea en conjunto con el diseño geométrico condiciones de seguridad vial.

Alcance

El alcance del trabajo de profundización define realizar el diseño geométrico de dos alternativas para la intersección localizada sobre la vía que desde Monterrey se dirige hacia Yopal y conecta con el municipio de Aguazul en las calles 12 y 15 del mismo, de manera que se permita una mejor conexión con el centro del municipio así como con el corregimiento del Cerro de la Cruz, para lo anterior, se cuenta con la topografía suministrada por la Concesionaria Vial del Oriente S.A.S. Asimismo, se determina el volumen de vehículos en cada movimiento al final del periodo de diseño, con lo cual se calcula el número de carriles de acuerdo a la capacidad de la vía, lo anterior, representa un detalle importante para el predimensionamiento de los diseños propuestos. Por último, mediante un análisis de afectación predial, se realizará la elección de la alternativa definitiva, a la cual se procederá a realizar el diseño de señalización de la intersección y el diseño a detalle del trazado geométrico en planta, perfil y en sección transversal.

Marco Teórico

Para la ejecución del presente proyecto se requiere de la definición de diferentes conceptos básicos con el fin de identificar y orientar de manera acertada la metodología a implementar. De igual forma, es importante indicar que para el desarrollo del proyecto se consideraron las especificaciones normativas vigentes colombianas señaladas en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia, Manual de Señalización Vial colombiano, Plan de Desarrollo del municipio de Aguazul en Casanare, así como los apéndices técnicos del contrato de concesión.

Estudio de Volúmenes de Tránsito

Los estudios de tránsito constituyen una herramienta fundamental en el desarrollo de un proyecto vial, con el cual, se determinará el Volumen (Q), Tasa de flujo (q), demanda (D) y capacidad (c) del proyecto (cal y mayor), a partir de los flujos vehiculares, peatonales y de ciclistas que transitan por un punto de la vía, de igual forma, en el análisis de tránsito es importante evaluar diversos factores y limitaciones relacionadas con los movimientos vehiculares y la interacción de todos los elementos del tránsito. Lo anterior, constituye un recurso importante en la determinación de los componentes y características geométricas requeridas de un proyecto vial y de las obras complementarias, ya que, considerando su análisis, es posible adaptar las necesidades de las vías a las necesidades del tránsito (Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018).

Conteos Volumétricos de Tráfico

Para la determinación de los volúmenes de tráfico se deben tomar aforos o conteos del tránsito vehicular que circula por las intersecciones o puntos de mayor concentración y que hacen parte de la zona de estudio, para ello, se deben considerar los movimientos y las direcciones de recorrido, así como el área de influencia del proyecto.

Volumen de Tránsito Volumen de Tránsito

Definido como el número de vehículos que transitan por un punto o sección transversal en un intervalo definido del tiempo (Vehículos servidos), expresado de la siguiente forma:

$$Q = N/T$$

N: Número de vehículos

T: Tiempo

Q: veh/tiempo

Volumen de Tránsito Absoluto o Totales

Número total de vehículos que transitan por un punto o sección transversal en un lapso de tiempo. Según la duración del tiempo se tiene Tránsito anual (TA) para un tiempo igual a un año, tránsito mensual (TM) en un periodo de un mes, tránsito semanal (TS), al referirse al número de vehículos totales que transitan en una semana, tránsito diario (TD), al tránsito en un

día, tránsito horario (TH) para el tránsito total en una hora, y por último, tránsito en un periodo inferior a una hora (Q).

Volumen de Tránsito Promedio Diario (TPD)

Número total de vehículos que transitan en un periodo dado menor o igual a un año y mayor a un día, siempre considerando días completos, divididos por el número de días del periodo.

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < t \leq 1 \text{ año}}$$

Donde,

N: Numero de vehículos que pasan durante t días.

Asimismo, teniendo en cuenta el número de días del periodo, se tiene los siguientes tipos de tránsito promedio diario expresados en vehículo/día.

- Transito promedio diario anual (TPDA): TA/365
- Transito promedio diario mensual (TPDM): TM/30
- Transito promedio diario semanal (TPDS): TS/7

Volumen de Tránsito Promedio Horario

Define el volumen de tránsito en una hora determinada, expresado en vehículos / hora.

Volumen Horario Máximo y Mínimo

Define el máximo y mínimo volumen de tránsito presentado en el periodo de estudio y con los cuales se determina la hora de mayor demanda (hora pico) y menor demanda (hora valle)

Tasa de flujo (q)

Frecuencia con la cual en un periodo menor a una hora transitan vehículos o personas.

Demanda

Número de vehículos o personas que desean circular por un punto en un tiempo determinado (Vehículos que esperan ser servidos).

Velocidad

Relación de movimiento, entre el espacio recorrido por un cuerpo y el tiempo.
Expresada en Km por hora.

Para el estudio de tránsito a realizar en el proyecto de profundización, se considerarán los volúmenes de tránsito promedio diario (TPD), los cuales, son usados frecuentemente en la planificación de los proyectos viales, así como los volúmenes horarios que varían en un día, con lo anterior, se determinará la demanda en la intersección y los flujos de tránsito actuales, para con ellos, proyectar los flujos de tránsito en el periodo de diseño y definir así la solución que brinde condiciones óptimas de movilidad en la Intersección del Monumento a La Virgen.

Estudio Topográfico

Procedimiento para la determinación de las características de un terreno de acuerdo con su configuración y posición superficial, mediante la representación gráfica de todos sus elementos y detalles (relieve, vegetación, poblaciones, et), teniendo como referencia un sistema de coordenadas tridimensional. La aplicación de la topografía es la base para la descripción a detalle en un mapa o plano de la realidad de un terreno visto en campo. (Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua, 2008).

En un proyecto vial, un levantamiento topográfico detallado hace parte del estudio de ingeniería de detalle (diseños definitivos), etapa posterior a las fases de prefactibilidad (evaluación mediante cartografía) y factibilidad (reconocimiento del terreno, levantamiento del corredor de ruta con sistema lidar o convencional, y levantamiento de sitios especiales).

En la fase de diseño definitivos, el levantamiento topográfico aplicado al diseño geométrico de carreteras se debe realizar georreferenciación de la zona mediante GPS diferencial, y levantamiento detallado del eje de la vía con poligonales de amarre haciendo uso de estaciones totales y niveles de precisión.

La topografía del terreno es un insumo vital y fundamental en los proyectos de infraestructura vial, ya que, en gran medida la confiabilidad y garantía del proyecto dependen de su calidad.

Modelo digital de terreno – MDT

Representación estática y/o descripción aproximada de la superficie terrestre realizada mediante el procesamiento de la información tomada en campo. El MDT representa con una

elevada precisión las relaciones espaciales de los datos, sin embargo, esto, no garantiza que los resultados obtenidos tengan total exactitud. (Solano, 2019d).

Cuando la variable de trabajo a representar es una cota de terreno de un sistema de referencia, se tiene un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), considerado el modelo más conocido y usado de MDT. El uso de DEM's es ampliamente usado para el cálculo volumétrico de explanaciones en el diseño de proyectos nuevos o de mejoramiento de vías.

Diseño Geométrico

Proceso matemático, físico y geométrico mediante el cual, se relacionan de manera estética las características físicas y las condiciones de operación de los vehículos. En la práctica, el diseño geométrico consiste en la ubicación espacial sobre la superficie considerando diferentes factores de diseño como la topografía, el tránsito, la geología, la geotecnia, el urbanismo, la hidrología, así como las condiciones ambientales y sociales.

Su configuración geométrica final debe definir el trazado de su eje en planta y en perfil, así como el trazado de la sección transversal, el cual debe constituir la solución más adecuada en términos de funcionalidad, seguridad, comodidad y economía.

Intersección Vial

Área en el que dos o más vialidades cruzan su trazado y sus elementos geométricos en un punto determinado, ya sea en un mismo o en diferente nivel, generando cambios y cruces de trayectorias de los vehículos que transitan por las vías. Lo anterior, requiere que, en el planteamiento de las soluciones a proyectar en cada punto de conflicto, se evalúe de manera exacta los parámetros y condiciones de diseño que garanticen la seguridad vial de los usuarios, para ello, se debe analizar la jerarquía existente de las vías que se cruzan, los radios de giro disponibles, velocidades permitidas, y demás criterios que permitan realizar de manera cómoda y sencilla las maniobras en la intersección.

Señalización Vial

La señalización de un corredor vial consiste en la instalación de diferentes dispositivos uniformes que guían y regulan de manera correcta y segura la circulación vehicular y peatonal evitando situaciones de riesgo y facilitando su interacción, circulación, así como la optimización de tiempos de recorrido.

Seguridad Vial

Situación futura en la que la interacción entre los componentes de un sistema de vial se realiza de manera adecuada.

Afectación Predial

Restricción impuesta a uno o más inmuebles específicos que limita o impide el ejercicio de los derechos reales, la cual debe ser impuesta sobre los inmuebles requeridos para la expansión de la infraestructura de transporte para el mediano y largo plazo, de conformidad con lo previsto en el artículo 20 de la Ley 1682 de 2013 en concordancia con el artículo 37 Ley 9 de 1989. (ANI, 2016).

Área Requerida

Área total o parcial de un predio necesaria para la construcción del proyecto, en consideración al diseño definitivo del mismo, la cual, mediante procesos establecidos bajo normatividad vigente deben ser adquiridos para el desarrollo del proyecto.

Área Sobrante

Área de un predio que no requiere ser adquirida para el desarrollo del proyecto.

Área Remanente

Área de predio que de ser establecida como un área sobrante se afectaría su funcionalidad y su potencial desarrollo. Área no desarrollable.

Descripción de la Intersección de Estudio

La intersección del Monumento a la Virgen se localiza en el municipio de Aguazul en el departamento del Casanare, el cual dista de Yopal, capital del departamento a una distancia de 27 Km y de Bogotá de 361 Km.

El departamento de Casanare es uno de los más grandes en extensión (44.490 km²), lo cual representa el 3.9% del territorio nacional y el 17.55% de la Orinoquía colombiana. (Alcaldía Municipal de Aguazul, Casanare. *Esquema de Ordenamiento Territorial 2011*. Recuperado el 11 de noviembre del 2020)

Ilustración 3

Localización general del Municipio de Aguazul



Fuente: Página web de la Alcaldía Municipal de Aguazul, Casanare. Esquema de Ordenamiento Territorial 2011.

El municipio de Aguazul ubicado en las estribaciones de la cordillera oriental, en la zona de transición con las sábanas, el denominado piedemonte llanero, el cual comprende el borde este de la cordillera oriental y el límite oeste de la cuenca de los llanos orientales. Cuenta con zonas de grandes pendientes y con zonas planas. El municipio de Aguazul limita al Norte con los municipios de Pajarito (Boyacá) y Recetor (Casanare), al Sur con Tauramena y Maní (Casanare), al oriente con la capital del departamento, Yopal, y al occidente con Tauramena y Recetor (Casanare) (Alcaldía Municipal de Aguazul en Casanare, <http://www.aguazul-casanare.gov.co/municipio/geografia>).

Las actividades económicas del municipio de Aguazul giran en torno a la extracción petrolera, la agricultura y la ganadería, sin embargo, se ha evidenciado un crecimiento poblacional significativo debido a la bonanza petrolera que atrajo una gran cantidad de forasteros y visitantes que duplicaron su población, lo anterior, se ve reflejado en las cifras del censo nacional del año 1993 de 16.406 habitantes, respecto a los censos de los años 2005 y

2015 con 34.443 y 69.551 habitantes respectivamente, teniendo así un crecimiento de más de 300% en menos de 20 años superando así el promedio nacional. (Página web de la Alcaldía del Municipio de Casanare. Consultada el 13 de junio del 2019)

En la figura x, se muestra el contexto particular del proyecto en el cual se desarrollará el diseño geométrico objeto del presente trabajo de profundización.

Ilustración 4

Localización general Intersección La Virgen



Fuente: Elaboración propia.

El tramo de estudio hace parte de la infraestructura entregada a la Concesionaria Vial del Oriente S.A.S. - Covioriente S.A.S., el cual tiene a cargo el corredor vial Villavicencio – Yopal, que hace parte de las concesiones viales de cuarta generación que el gobierno nacional colombiano adelanta mediante un programa de infraestructura con el cual se modernizará la malla vial del país, y constituye un medio a través del cual las demás actividades económicas crecen, dinamizando la competitividad y el desarrollo de la zona.

Cabe resaltar que, la zona del proyecto estará directamente beneficiada con la ejecución de las obras de concesión, ya que, los impactos que traen consigo las mejoras del sistema de transporte en el desarrollo socioeconómico de una población son múltiples, al

permitir a los habitantes de la zona satisfacer las necesidades de movilización de forma eficiente, lo cual dinamiza la competitividad económica.

El sector de estudio de la Ruta Nacional 6512 cuenta con una vía direccional de dos carriles de 3.65 m con bermas variables entre 0 y 1,2 m, y con una estructura de pavimento en regular estado.

CAPÍTULO II

Análisis de Tránsito

El estudio de tránsito consiste en evaluar técnicamente la evolución y las características del tránsito vehicular, primordialmente en cuanto a su volumen, composición, caracterización, bajo el contexto económico y social de la región donde se encuentra asentada la vía. (Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. 2018).

Con el fin de entender y evaluar el comportamiento del tráfico en la ruta bajo estudio Aguazul – Yopal, e identificar de acuerdo con sus condiciones y movimientos el estado actual de la intersección, se realizan actividades que permitieron establecer mediante un análisis estadístico dicho comportamiento en términos de magnitudes, y con el cual, se determinó la evolución del tránsito considerando la tendencia histórica de las variables de tránsito para los sentidos que componen la intersección.

Caracterización de la Zona de Estudio

Recopilación e Identificación de la Información Existente

Para determinar preliminarmente el comportamiento histórico del tránsito vehicular en el tramo objeto del presente trabajo, se buscó información estadística del tránsito vehicular disponible con datos de fuentes secundarias. Para este caso, se obtiene información de la Ruta Nacional 6512 en la página oficial del INVIAS correspondiente a los volúmenes de tránsito procesados desde el año 1988 hasta el año 2018 y de su comportamiento histórico, en donde se encuentra el tramo del presente estudio.

No obstante, teniendo en cuenta que no se tienen los datos puntuales de la Intersección la Virgen se identifican los volúmenes de tránsito de las estaciones No. 1099 y No. 931, ubicadas en las coordenadas indicadas a continuación:

Tabla 2

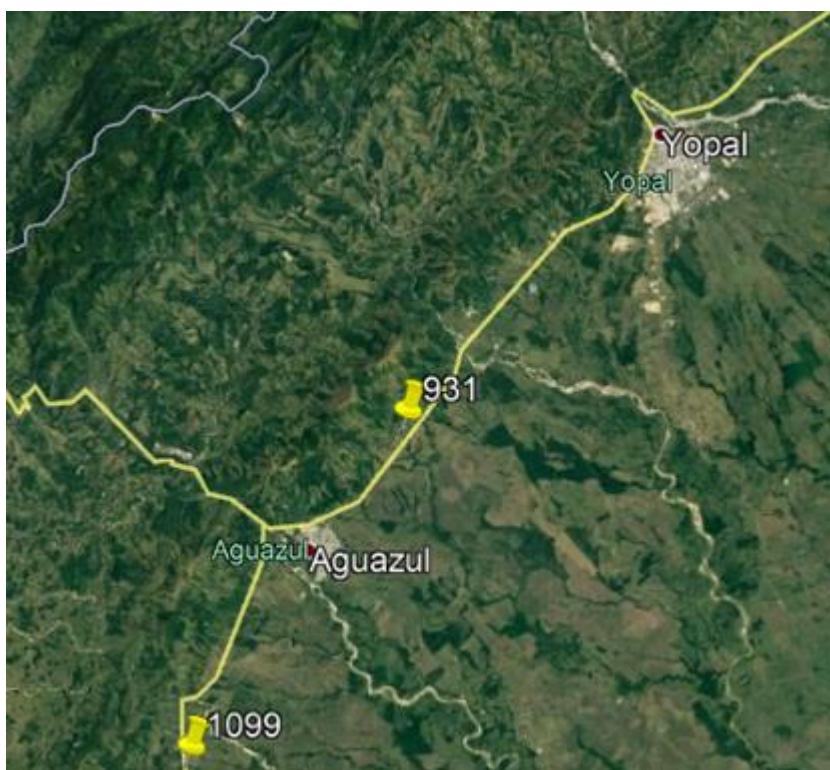
Coordenadas de ubicación estaciones de conteo No. 1099 y No. 931

No. Estación	Tramo	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1099	Aguazul - Rio Cusiana	5.07749444	-72.6038167
931	Aguazul - Yopal	5.22153889	-72.5112351

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5

Localización estaciones de conteo No. 1099 y No. 931



Fuente: Google Earth.

Sin embargo, de acuerdo con los datos procesados por el INVIAS se evidencia que el tráfico se ha expandido con crecimientos positivos del orden de 56,3% y decrecimientos del orden de -29,1%, datos oficiales que resultan inconsistentes, teniendo en cuenta que en la estación 1099 para algunos años como el 2008, 2012, 2016 y 2018, la caída del tráfico es muy significativa y en algunos otros el crecimiento interanual es muy elevado, asimismo, no se

tiene una relación proporcional con la estación 931 que presenta decrecimientos de tráfico en los años 2007, 2010 y 2016. Esta situación hace que para los propósitos del presente trabajo sea compleja y poco realista realizar una estimación de tráfico con esta disparidad en los registros de INVIAS.

Cabe resaltar que, dichos valores pueden ser útiles para evaluaciones de carácter económico, social o ambiental, las cuales, no hacen parte del alcance del trabajo de profundización.

Recopilación de Información Primaria

Trabajo de Campo

Para evaluar las condiciones actuales de operación de la Intersección se realiza de manera preliminar una visita de campo con el fin de identificar los movimientos que se presentan en la intersección, el tipo de tráfico vehicular y los puntos de mayor demanda, la infraestructura existente (edificaciones, drenaje, iluminación, paisajismo urbano, señalización, etc), así como los factores de riesgo a tener en cuenta para la evaluación de la seguridad vial y de la toma de datos.

Organización del estudio

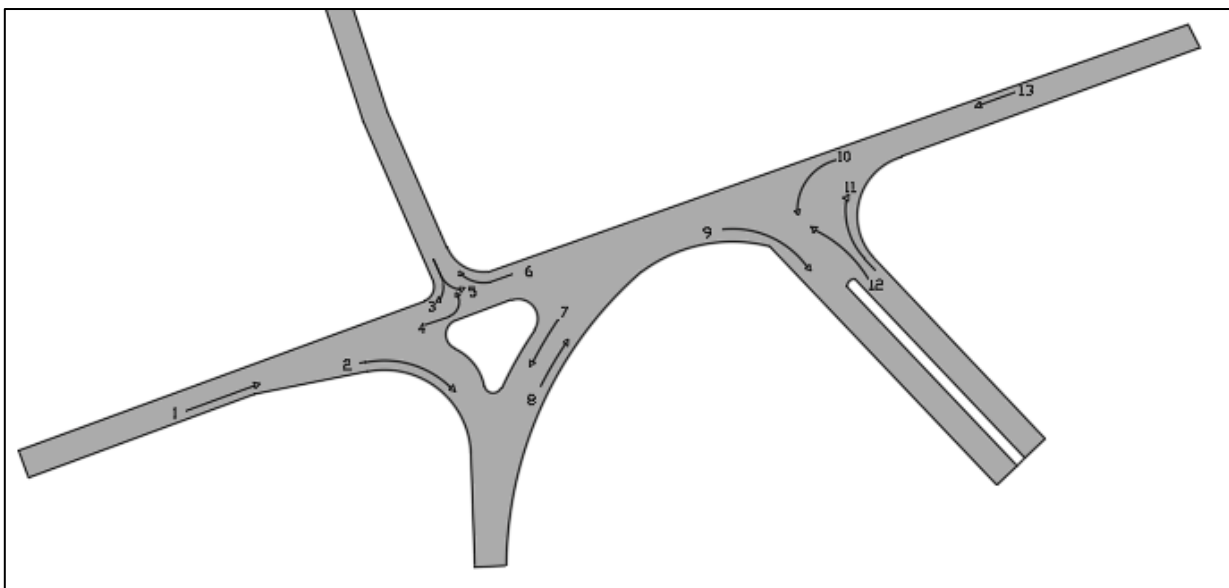
Una vez identificada la localización de la intersección en el recorrido realizado, y verificado mediante Google Earth su área de influencia, se determinan de manera esquemática los movimientos que se presentan en la intersección para la toma de información, posteriormente, se identifican los posibles puntos de ubicación de las estaciones de conteo, teniendo en cuenta, diferentes condiciones que garanticen la calidad de la información, y la confiabilidad del procesamiento de datos en términos operativos y técnicos. Entre los criterios a considerar se tiene que la ubicación de los puntos de conteos sea en terreno plano, con visibilidad en las direcciones a evaluar, buena iluminación, cobertura telefónica adecuada y facilidad próxima a servicios públicos.

De igual forma, de acuerdo con las características de cada punto y previendo la adecuada cobertura del trabajo de campo, se determina el alcance de las labores, la cantidad de personal y los materiales necesarios, los días óptimos de toma de información y la duración de los aforos.

Posteriormente se elaboran los formatos a diligenciar en donde se identifica de forma clara la localización de la estación y sus respectivos movimientos, la fecha del levantamiento, el numero de la estación de conteo y demás información para el reconocimiento de la zona. En la imagen a continuación se presentan los movimientos definidos para la toma de los datos e indicados en el formato utilizado para los conteos (Anexo 1).

Ilustración 6

Movimientos de flujo vehicular – Intersección Monumento a la Virgen



Fuente: Elaboración propia.

Una vez aprobado el formato a diligenciar, se contrata el personal evaluador, y se realiza la respectiva capacitación, la cual, de acuerdo con las condiciones se realiza de forma virtual, haciendo uso de imágenes y videos didácticos. Mediante la capacitación se busca instruir al personal de manera clara y detallada sobre los objetivos de las labores de campo y la metodología para la identificación del tránsito vehicular y el diligenciamiento de los formatos, los cuales, son familiarizados, así como las medidas de seguridad a tener en cuenta.

El personal contratado recopilara la información, de acuerdo con la programación realizada y la asignación de la estación. Previo a las labores de campo, el personal realiza un reconocimiento de la intersección y un simulacro en los sitios destinados para los conteos, con el fin de determinar posibles dudas y evidenciar situaciones relacionadas con los aforos, enfatizando en la técnica y en el diligenciamiento de los formatos.

Con la ayuda de un ingeniero civil de la zona con amplia experiencia, se realiza la supervisión continua de los conteos en el periodo programado, verificando el cumplimiento de las actividades realizadas de acuerdo con lo indicado en la capacitación impartida.

Aforos vehiculares

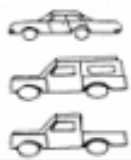









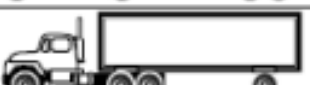
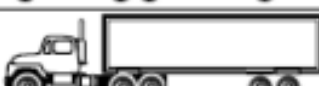

Los aforos o conteos vehiculares tienen el objetivo de registrar para cada movimiento y sentido de tránsito el número de vehículos que circula por cada punto determinado, discriminado de acuerdo con la clasificación establecida.

De esta manera, la totalidad del flujo vehicular observado queda registrado según los movimientos direccionales en la intersección (establecidos previamente) y el tipo de vehículo, en un tiempo de 15 minutos para cada movimiento.

De acuerdo con la resolución No. 4100 del Ministerio de Transporte, los vehículos en Colombia se clasifican según lo indicado en la ilustración 8.

Ilustración 7

Clasificación general de vehículos

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO	
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE	
C3 Y C4	CAMION C3	
	CAMION C4	
	TRACTO-CAMION C2-S1	
	TRACTO-CAMION C2-S2	
	TRACTO-CAMION C3-S1	
C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
> C5	TRACTO-CAMION C3-S3	

Fuente: Cartilla de volúmenes vehiculares INVIAS.

En la tabla e ilustración a continuación, se indica la localización de los dos puntos de aforo, los cuales, se determinaron de acuerdo a los criterios previamente señalados, con el fin

de obtener la información de manera adecuada, ya que esta corresponde al insumo principal para el análisis de tránsito.

Tabla 3

Coordenadas de ubicación estaciones de conteo

	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Estación No. 1	5.180346	-72.5543
Estación No. 2	5.180757	-72.553615

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8

Localización estaciones de conteo



Fuente: Elaboración propia.

Los aforos vehiculares fueron realizados de manera cuidados los días 14, 15 y 16 de agosto de 2021 entre las 5:00 am y las 8:00 pm en los puntos indicados en la imagen xx, en las

condiciones establecidas. Los días escogidos para el conteo corresponden a una semana típica que no incluye festivos con el fin de no afectar la información tomada.

Procesamiento de la información

Con los formatos diligenciados, se realiza la transcripción de la información recolectada en medio magnético, teniendo en cuenta, que esta actividad debe realizarse de manera rigurosa, evitando posibles errores, e identificando claramente los movimientos establecidos.

Con la información digitada, se procede a revisar la información, mediante una hoja de cálculo en la que se identifica la estación de conteo, fecha, movimientos, periodos de tiempo y los respectivos conteos. (Ver anexo).

El análisis de la información procesada se realiza con el objetivo de determinar los volúmenes de tránsito en cada día de acuerdo con los tipos de vehículos de finidos y los movimientos direccionales establecidos.

Cálculo de Volúmenes

Flujo vehicular

Con la información tomada debidamente tabulada en cada estación de conteo para periodos de 15 minutos, se tiene el número de vehículos que circula durante los periodos de tiempo de acuerdo con su clasificación vehicular, sin embargo, para obtener un flujo vehicular equilibrado o representativo, se tiene en cuenta que todos los vehículos al tener diferentes tipos de operación y diferentes magnitudes de tamaños requieren de espacios variables acorde con sus características, por lo tanto, se evalúa la capacidad de las vías unificando el flujo vehicular, al respecto, se estandariza el número de vehículos circulantes en una unidad de medida denominada Automóviles Directos Equivalentes (ADES), teniendo como unidad básica el automóvil.

Para convertir el número de vehículos en ADE, para cada tipo de vehículo y según su tipo de operación y tamaño se utilizan factores de equivalencia, los cuales se relacionan a continuación:

Tabla 4
Automóviles Directos Equivalentes, ADE

TIPO DE VEHICULO	Vía Urbana	Carretera	Glorieta	Intersección Semaforizada
Automóviles, taxis, vehículos comerciales livianos (camiones pequeños y camionetas)	1.00	1.00	1.00	1.00
Buses	3.00	3.00	2.80	2.25
Vehículos comerciales medianos y pesados (camiones) y vehículos de tracción animal	2.00	3.00	2.80	1.75
Motocicletas	0.75	1.00	0.73	0.33
Bicicletas	0.33	0.50	0.50	0.20

Fuente: Arboleda Vélez, German; (1ª. Ed). (Pág. 27); (2011); Vías Urbanas.

Así las cosas, con los datos tabulados, para cada uno de los movimientos establecidos en las dos estaciones de conteo, se genera para cada tipo de vehículo, el valor ADE correspondiente en cada periodo de 15 minutos. A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo realizado, tomando como referencia los valores indicados para el diseño de una carretera.

Tabla 5
Factores de equivalencia ADES utilizados.

TIPO DE VEHICULO	FACTOR EQUIVALENTE
MOTOCICLETAS	0.75
AUTOS	1.00
BUSES	3.00
VEHICULOS PESADOS	3.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se indica a manera de ejemplo los resultados de los aforos vehiculares tomados en la estación No. 1 el día 14 de agosto de las 5:00 am a las 5:30 am, lo cual incluye dos periodos de 15 minutos en los 8 movimientos, asimismo, en la tabla 7 se presentan para dichos datos el resultado del cálculo de los ADES a partir de expresión indicada a continuación y los factores de la tabla 5.

$$ADE = (Motos * 0.75) + (automoviles * 1.00) + (buses * 3.00) \\ + ((C2P + C2G + C3 + C4 + > C5) * 3.00)$$

Tabla 6
Resultados aforos vehiculares

SENTIDO	PERIODO	AUTOS	BUS	C2P	C2G	C3	C4	>C5	TOTAL
1	05:00 - 05:15	25	3	4	7	17		10	66
2	05:00 - 05:15	1	2			1			4
3	05:00 - 05:15								0
4	05:00 - 05:15								0
5	05:00 - 05:15								0
6	05:00 - 05:15								0
7	05:00 - 05:15								0
8	05:00 - 05:15	2	1	2	3	3		2	13
1	05:15 - 05:30	6		1	2			1	10
2	05:15 - 05:30		1						1
3	05:15 - 05:30								0
4	05:15 - 05:30								0
5	05:15 - 05:30								0
6	05:15 - 05:30								0
7	05:15 - 05:30	1							1
8	05:15 - 05:30	3						1	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7
Resultados ADES

SENTIDO	PERIODO	AUTOS	BUS	C2P	C2G	C3	C4	>C5	Total
1	05:00 - 05:15	25	9	12	21	51	0	30	148
2	05:00 - 05:15	1	6	0	0	3	0	0	10
3	05:00 - 05:15	0	0	0	0	0	0	0	0
4	05:00 - 05:15	0	0	0	0	0	0	0	0
5	05:00 - 05:15	0	0	0	0	0	0	0	0
6	05:00 - 05:15	0	0	0	0	0	0	0	0
7	05:00 - 05:15	0	0	0	0	0	0	0	0
8	05:00 - 05:15	2	3	6	9	9	0	6	35
1	05:15 - 05:30	6	0	3	6	0	0	3	18
2	05:15 - 05:30	0	3	0	0	0	0	0	3
3	05:15 - 05:30	0	0	0	0	0	0	0	0
4	05:15 - 05:30	0	0	0	0	0	0	0	0
5	05:15 - 05:30	0	0	0	0	0	0	0	0
6	05:15 - 05:30	0	0	0	0	0	0	0	0
7	05:15 - 05:30	1	0	0	0	0	0	0	1
8	05:15 - 05:30	3	0	0	0	0	0	3	6

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el valor ADE para cada movimiento en los tres días de aforo, se determina el valor promedio de ADE para los movimientos en todos los periodos de 15 minutos tomados. En la tabla a continuación se presenta la información procesada de los 8 movimientos de la Estación 1 para los dos periodos comprendidos entre las 5:00 am a las 5:30 am.

Tabla 8
Promedio ADES estación 1.

SENTIDO	PERIODO	14/08/2021	15/08/2021	16/08/2021	PROMEDIO
1	05:00 - 05:15	148	74	48	90
2	05:00 - 05:15	10	5	18	11

SENTIDO	PERIODO	14/08/2021	15/08/2021	16/08/2021	PROMEDIO
3	05:00 - 05:15	0	0	0	0
4	05:00 - 05:15	0	0	0	0
5	05:00 - 05:15	0	0	0	0
6	05:00 - 05:15	0	1	0	0
7	05:00 - 05:15	0	9	9	6
8	05:00 - 05:15	35	32	18	28
1	05:15 - 05:30	18	46	25	30
2	05:15 - 05:30	3	0	2	2
3	05:15 - 05:30	0	0	0	0
4	05:15 - 05:30	0	6	0	2
5	05:15 - 05:30	0	0	0	0
6	05:15 - 05:30	0	0	0	0
7	05:15 - 05:30	1	8	10	6
8	05:15 - 05:30	6	13	23	14

Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, con el fin de determinar el volumen horario de máxima demanda o el flujo vehicular para cada movimiento de la intersección en estudio, se tienen en cuenta los siguientes criterios:

Criterio 1: Se determina el periodo de máxima demanda, correspondiente a los cuatro periodos consecutivos de 15 minutos en donde el volumen es máximo.

$$VHMD = \sum_{i=1}^4 V_i$$

Criterio 2: Se determina el volumen mayor y se proyecta a los cuatro periodos de 15 minuto que contiene una hora.

$$VHMD = 4 * MAX (V_i)$$

Para la evaluación de los flujos vehiculares del presente trabajo se considera el criterio 2, teniendo en cuenta que con este criterio se obtiene un valor de tránsito mayor, asimismo, este es usualmente usado en intersecciones a nivel.

A continuación, se presenta el flujo vehicular para cada movimiento definido en la intersección en estudio.

Tabla 9

Flujo vehicular por movimiento de la intersección.

SENTIDO	PERIODO	ADES MAXIMO PROMEDIO	FLUJO VEHICULAR (Q₁₅) (ADE/HORA)
1	05:00 - 05:15	90	90*4= 360
2	08:45 - 09:00	15	60
3	17:00 - 17:15	11	44
4	18:30 - 18:45	3	12
5	18:00 - 18:15	6	24
6	08:45 - 09:00	4	16
7	10:00 - 10:15	31	124
8	09:15 - 09:30	42	168
9	17:30 - 17:45	8	32
10	06:30 - 06:45	11	44
11	15:00 - 15:15	12	48
12	18:15 - 18:30	9	36
13	11:30 - 11:45	47	188

Fuente: Elaboración propia

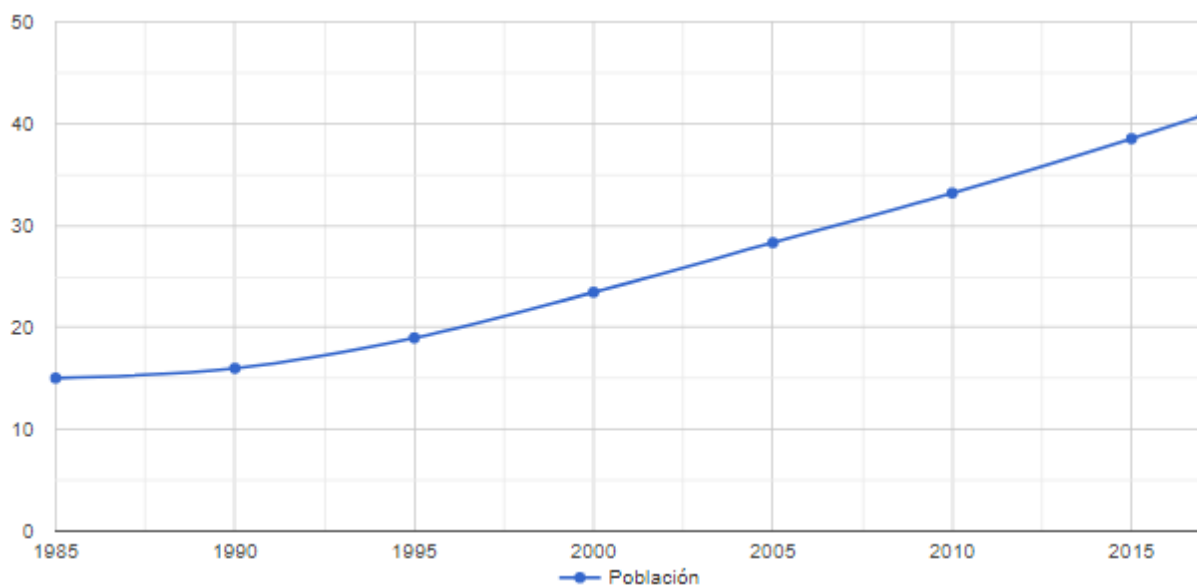
Capacidad

Una vez obtenido el volumen horario de máxima demanda para cada uno de los movimientos, se realiza la proyección de los mismos a un periodo de 25 años, para lo anterior, se toma en consideración una tasa de crecimiento del parque automotor análoga a la tasa de crecimiento poblacional.

A continuación, se presenta el crecimiento poblacional del municipio de Aguazul en Casanare y el cambio anual, (Recuperado de la Página web de Población-Population el 15 de junio del 2022)

Ilustración 9

Crecimiento poblacional municipio de Aguazul (en miles)



Fuente: population.city

Cambio anual poblacional:

[1985-1990] **+1.25** %/Año
 [1990-1995] **+3.47** %/Año
 [1995-2000] **+4.33** %/Año
 [2000-2005] **+3.84** %/Año
 [2005-2010] **+3.23** %/Año
 [2010-2015] **+3.03** %/Año
 [2015-2017] **+2.93** %/Año

Proyección del tránsito vehicular

Para evaluar escenarios de crecimiento de demanda y oferta futuros, dados en consideración a los cambios del sistema de transporte, se realiza una estimación de la evolución del tráfico a partir del flujo vehicular obtenido para cada movimiento, lo cual, representa el comportamiento y las características del flujo vehicular que transita por la intersección Monumento a la Virgen.

Para el modelo de proyección se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$VHMD_n = VHMO_0 * (1 + r)^n$$

Donde,

n: año de proyección

r: tasa de crecimiento del parque automotor

0: año base o año de proyección

A continuación, se presenta como ejemplo el cálculo del flujo vehicular de la estación No. 1 proyectado a 25 años

$$VHMD_{25} = 360 * (1 + (\frac{3.15}{100}))^{25}$$

$$VHMD_{25} = 783$$

Tabla 10

Flujo vehicular por movimiento proyectado a 25 años (periodo de diseño)

		n años	25
SENTIDO	PERIODO	FLUJO VEHICULAR (Q ₁₅) (ADE/HORA)	FLUJO VEHICULAR EN 25 AÑOS
1	05:00 - 05:15	360	783
2	08:45 - 09:00	60	130

		n años	25
SENTIDO	PERIODO	FLUJO VEHICULAR (Q₁₅) (ADE/HORA)	FLUJO VEHICULAR EN 25 AÑOS
3	17:00 - 17:15	44	96
4	18:30 - 18:45	12	26
5	18:00 - 18:15	24	52
6	08:45 - 09:00	16	35
7	10:00 - 10:15	124	270
8	09:15 - 09:30	168	365
9	17:30 - 17:45	32	70
10	06:30 - 06:45	44	96
11	15:00 - 15:15	48	104
12	18:15 - 18:30	36	78
13	11:30 - 11:45	188	409

Fuente: Elaboración propia

Partiendo de esas cifras de tránsito estimadas o calculadas para el año base de las categorías vehiculares, como antes se describió, se efectúa las proyecciones del tránsito futuro para el período de estudio 2015 - 2045.

Teniendo en cuenta las proyecciones de tránsito calculas y conociendo las características del tráfico de circulación, se determina el número de carriles para cada calzada y el ancho mínimo de los mismos, lo cual influye directamente en la capacidad y el nivel de servicio de la vía. (Mopt, 1992).

CAPÍTULO III

Definición de Alternativas de Diseño

De acuerdo con las características de la zona, las necesidades particulares de mejora de movilidad en la intersección la Virgen, la topografía disponible y el estudio de tránsito realizado, se plantean diferentes alternativas que permiten la conexión cómoda y segura entre los sentidos bidireccionales del corredor Villavicencio- Yopal con el municipio de Aguazul y su futuro desarrollo, así como el Cerro de la Cruz , con lo cual se da atención a las solicitudes realizadas por las entidades territoriales y por la comunidad en general. En el sector La Virgen se evalúan las alternativas a continuación:

Alternativa 1

Con el fin de brindar a las poblaciones del Municipio de Aguazul y del corregimiento del Cerro de la Cruz mejores las condiciones operativas para sus viajes origen y destino, así como la conexión entre las zonas urbanas que se encuentran entre si, los cuales tendrán un crecimiento poblacional y de parque automotor después de la entrada en operación del proyecto concesionado debido a la consolidación del territorio y la relación directa entre el desarrollo económico de un sector y la integración de nueva infraestructura. La alternativa 1, proyecta construir doble calzada en el corredor principal además de dos retornos a nivel que permiten realizar giros a la izquierda en los sentidos Villavicencio – Yopal y viceversa. El primer retorno Sur a Norte permite que, de manera rápida y segura, los usuarios que circulan desde Villavicencio así como los que salen del municipio de Aguazul puedan realizar la maniobra hacia la izquierda para retornar a la calzada en sentido Yopal – Villavicencio y puedan ingresar al Cerro de la Cruz o continuar su trayecto hacia la capital del departamento del Meta. El segundo retorno en sentido Norte a Sur garantiza a los usuarios que se dirigen desde Yopal y a los habitantes del corregimiento del Cerro de la Cruz incorporarse de manera segura a la calzada en sentido Villavicencio a Yopal y continuar su trayecto o ingresar al municipio de Aguazul.

Esta alternativa además de optimizar el recorrido por el corredor principal permite retornar a los usuarios que circulan por las calzadas en sentido Villavicencio – Yopal y Yopal-Villavicencio, garantiza la conexión de la vía de salida del municipio de Aguazul y del Cerro de la Cruz con la doble calzada. Para los giros a la derecha se mantienen y se mejoran las

condiciones geométricas de los accesos existentes, permitiendo de esta manera, realizar todos los movimientos para la accesibilidad a los centros poblados adyacentes a la Intersección la Virgen.

Las ubicaciones de los retornos de la alternativa 1 se relacionan a continuación. Las longitudes de los carriles de aceleración y desaceleración de los retornos corresponden a los estipulado en el manual de diseño geométrico Invias, de esta forma la longitud de los carriles de aceleración son variables en función de la velocidad de las calzadas de origen y destino.

Las ubicaciones de los retornos de la alternativa 1 se relacionan a continuación. Las longitudes de los carriles de aceleración y desaceleración de los retornos corresponden a los estipulado en el manual de diseño geométrico Invias, de esta forma la longitud de los carriles de aceleración son variables en función de la velocidad de las calzadas de origen y destino.

Tabla 11

UBICACIÓN DE RETORNOS ALTERNATIVA 1

	Abscisa inicial	
	Calzada Der	Calzada Izq
Retorno Sur - Norte	K1+180	K1+158
Retorno Norte - Sur	K0+380.00	K0+380

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10

Trazado geométrico en planta – Alternativa 1



Fuente: Google Earth – Trazado: Elaboración propia

Alternativa 2

Al igual que en la alternativa 1, con la proyección de la alternativa 2 se busca dar solución a las situaciones de conectividad que tienen los habitantes de Aguazul y del Cerro de la Cruz para conectarse entre sí de manera directa y cómoda, así como con el corredor vial Villavicencio – Yopal.

La alternativa 2 considera, la proyección del corredor principal en doble calzada, cada una con dos carriles de circulación en igual sentido, y el diseño de una intersección a desnivel, en donde se plantean dos puentes que conectan de manera directa la circulación de los vehículos que se dirigen desde Villavicencio hacia Yopal y en sentido contrario, manteniendo el retorno Sur a Norte planteado en la alternativa 1, con el fin de permitir la conexión entre los usuarios que salen del Municipio de Aguazul por la calle 15 o para los que desde Villavicencio desde el puente de la calzada derecha deseen incorporarse a la calzada en sentido Yopal – Villavicencio para seguir con su recorrido hacia Villavicencio por el puente de la calzada izquierda o ingresar al Cerro de la Cruz, lo anterior, mediante una glorieta a nivel, que permitirá que los vehículos disminuyan gradualmente su velocidad y en condiciones de seguridad se incorporen al corregimiento del Cerro de la Cruz. La glorieta está conformada por cuatro ramales de los cuales dos empalman con el proyecto en doble calzada, y mediante

los dos restantes se permite la accesibilidad a la vereda el Municipio de Aguazul y al Cerro de la Cruz.

Las longitudes de los carriles de aceleración y desaceleración para la incorporación o salida desde y hacia los puentes de cada calzada, así como el retorno planteado corresponden a los estipulado en el manual de diseño geométrico Invias, y varían de acuerdo con la velocidad de las calzadas de origen y destino.

Ilustración 11

Trazado geométrico en planta – Alternativa 2



Fuente: Google Earth – Trazado: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

Topografía

Para el diseño geométrico de un corredor vial, es importante además de considerar las condiciones que garantizan la seguridad y comodidad que requieren los usuarios de la vía, tener en cuenta las implicaciones prediales, ambientales y sociales que se pueden generar con la realización del proyecto, para ello, el trazado del corredor debe adaptarse de manera aproximada a la topografía y al entorno del proyecto, integrando en su proyección todos los elementos que hacen parte de la sección transversal de la vía. Lo anterior, constituye el condicionante principal en la definición del trazado de un proyecto vial, debido a que se debe

prever el menor impacto, la accesibilidad y el empalme a predios consolidados, lo cual, supone un control constante en el diseño del trazado en planta y en perfil. (Mopt, 1992).

Para la realización del presente trabajo de profundización, la Concesionaria entregó toda la información relacionada con la topografía de la zona, lo cual, representó para el desarrollo del mismo, un insumo de trabajo de gran relevancia, considerando que, con dicha información se facilitó y se agilizó el proceso de recolección de datos.

A continuación, se presenta un breve resumen de las actividades realizadas por la Concesionaria para la toma de la información de campo, insumo con el cual, se efectuó el procesamiento de datos, la elaboración de la silueta topográfica y el modelo digital del terreno.

La georreferenciación de la zona se realizó mediante una red geodésica de alta precisión con sistema GPS doble frecuencia, para ello, el proyecto cuenta con parejas de puntos de control fijos o parejas de vértices GPS materializados aproximadamente cada 3 Km con placas de aluminio e indicado su respectiva descripción. Las parejas de puntos constituyen la poligonal base del proyecto.

De igual forma, con estas parejas de puntos se establecieron puntos de control o de apoyo permanentes y de fácil acceso aproximadamente cada 500 metros, localizados en la carpeta asfáltica, zonas duras o en la berma de vía, los cuales son utilizados para el control del sistema de georreferenciación, la nivelación del proyecto y posteriores replanteos. Los puntos de control fueron amarrados con GPS RTK o con estación total, por lo tanto, hacen parte de la poligonal de base, nivelados geoméricamente.

El control de la nivelación del tramo que contiene la zona de estudio se realizó partiendo de los vértices o NP's localizados en el corredor y certificados por el IGAC, utilizando como base, los deltas de la poligonal materializada en campo, con cambios o DBM's instalados cada 500 metros con circuitos cerrados de nivelación y contra nivelación, los cuales, cumplieron los cierres establecidos por norma, y son utilizados para el replanteo del proyecto.

Con la nube de puntos entregada, y con ayuda del software Topo 3 se realiza el procesamiento de los datos correspondientes a la topografía de la zona, con lo cual, se reconstruye no solo la geometría de la vía existente y los quiebres de la superficie del terreno,

si no que, se identifican la ubicación de los diferentes elementos que se encuentran en el corredor como vegetación, alcantarillas, cunetas, y señales de tránsito.

Diseño Geométrico

El diseño geométrico de un proyecto de infraestructura vial ya sea nuevo o de mejoramiento supone el componente más importante en la concepción del proyecto. El diseño geométrico debe proyectarse considerando la disposición espacial más conveniente sobre el terreno, con el fin de adaptar su trazado a las características de la zona y los requerimientos de diseño, teniendo como premisa principal que la solución proyectada debe garantizar con un valor razonable la funcionalidad, armonía, accesibilidad, pero sobre todo la seguridad y comodidad de los usuarios de la vía.

El diseño geométrico consiste en un proceso iterativo, en el cual, mediante un modelo tridimensional, se conforma la geometría de la vía, dicho proceso, es evaluado y modificado contantemente, con el fin, de evaluar la consistencia de los requerimientos y el cumplimiento de los parámetros de diseño en relación con las condiciones de la carretera, buscando en todos los casos la optimización de las condiciones reales de tránsito. (García, A., et al, 2012).

Ilustración 12

Modelo tridimensional de una carretera



Fuente: García, A., et al, 2012

Para la elaboración del diseño geométrico de las alternativas proyectadas para el mejoramiento de la intersección del Monumento a la Virgen serán considerados los lineamientos establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – INVIAS 2008, Manual de Señalización Vial INVIAS 2015, así como las indicadas en el Manual AASHTO - A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS 2018, para ello, se tendrá en cuenta el procedimiento general para el diseño de una intersección vial y los criterios geométricos, con el fin de que, a partir de la evaluación del trazado existente y los ajustes de acuerdo con dichas especificaciones se logre un trazado óptimo que garantice una operación segura, velocidad de operación continua y acorde a las condiciones generales de la vía.

De acuerdo con lo indicado en el capítulo 6. Intersecciones a Nivel y Desnivel del MDG - 2008 es importante considerar como criterios de diseño fundamentales la priorización y sentido de los movimientos, el flujo de tránsito, la visibilidad, y el espacio disponible para realizar los movimientos identificados en el conteo vehicular, a partir de lo anterior se debe proporcionar en todos los casos un diseño que brinde claridad, seguridad y comodidad a los usuarios. Así mismo, teniendo en cuenta la capacidad por carril según el tipo de carretera, las

longitudes mínimas de entrecruzamiento, el número de carriles requeridos en las zonas de entrecruzamiento, el balance de carriles y carriles de aceleración o desaceleración, se realizará el dimensionamiento de los elementos de la intersección (MDG-2008).

Por último, teniendo en cuenta que el proyecto objeto del trabajo de profundización se encuentra enmarcado en el Contrato de Concesión bajo el Esquema de APP No. 010 de 2015 firmado entre La Agencia Nacional de Infraestructura – ANI y la Concesionaria Vial del Oriente S.A.S. – Covioriente S.A.S. serán estimadas las intervenciones mínimas a realizar y los requerimientos técnicos indicados por la ANI, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 12

Intervención mínima y condiciones obligatorias sobre la vía.

INTERVENCIÓN MÍNIMA Y CONDICIONES OBLIGATORIAS SOBRE LA VÍA AGUAZUL - YOPAL	
Intervención mínima	Construcción de doble calzada, mejoramiento de trazado y sección transversal
Condiciones obligatorias mínimas en paso poblacional	Construir andenes en el costado izquierdo de la vía en la población sobre la vía Aguazul - Yopal. En cualquier caso, los andenes deberán cumplir con la normativa establecida en el Apéndice 3 del contrato de Concesión o lo establecido en el POT o EOT vigente del municipio, lo que sea más exigente.

Fuente: Apéndice técnico 1 – Contrato No. 010 de 2015

Tabla 13

Características geométricas de entrega

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE ENTREGA CORREDOR AGUAZUL-YOPAL	
Requisitos técnicos	Doble calzada proyectada Aguazul - Yopal
Número de calzadas mínimo (un)	2
Número de carriles por calzada mínimo (un)	2
Sentido de carriles (Uni o bidireccional)	Unidireccional
Ancho de carril mínimo (m)	3,65
Ancho de calzada mínimo (m)	7,30

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE ENTREGA CORREDOR AGUAZUL-YOPAL	
Requisitos técnicos	Doble calzada proyectada Aguazul - Yopal
Ancho de berma mínimo (m)	Interna: 1,0 Externa: 2,5
Tipo de berma	Pavimentada
Acabado de la rodadura	Flexible o rígido
Velocidad de diseño mínimo (km/h)	80
Radio mínimo (m)	230
Pendiente máxima (%)	5,50
Ancho mínimo de separador central	4

Fuente: Apéndice técnico 1 – Contrato No. 010 de 2015

Reconocimiento de la zona del proyecto

De acuerdo con la necesidad operacional de la vía, así como los beneficios económicos que se obtienen a nivel nacional, la calzada bidireccional existente en donde se ubica la zona del proyecto es una **carretera primaria**.

Asimismo, teniendo en cuenta la topografía de la zona de estudio, el cual, cuenta con pendientes transversales al eje de la vía menores de cinco grados, y pendientes longitudinales menores de tres por ciento (3%), el tramo de estudio se ubica sobre un **terreno plano**, lo cual, supone facilidad en el trazado de alineamiento de diseño y bajo movimiento de tierras en la construcción de vías. (Manual de Diseño Geométrico de carreteras, 2008. Pág 5-6)

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño de las alternativas planteadas están determinados según las características físicas y operativas de la zona de influencia, siendo la topografía, el tránsito vehicular y la velocidad de diseño los factores definitivos en el desarrollo del diseño geométrico de todo proyecto de infraestructura vial; así las cosas, la evaluación adecuada de los factores que definen los parámetros o criterios de diseño, así como la respectiva definición de los mismos garantizan condiciones de operación segura y velocidad de operación continua acorde con las condiciones de la intersección La Virgen.

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Invias. 2008

Velocidad de operación

La velocidad de operación corresponde a la velocidad con la cual, un vehículo circula sin tener condicionantes que motiven la elección o el cambio de la velocidad como la intensidad del tráfico o las condiciones atmosféricas, es decir realiza su recorrido con una velocidad que asume en función de su apreciación del entorno y las características físicas de la vía. (Mopt. 1992). En la tabla a continuación, se presenta para diferentes situaciones de tráfico la relación entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación promedio.

Tabla 15

Velocidad de operación para diferentes condiciones de Tránsito

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	VELOCIDAD DE OPERACION PROMEDIO (Kmh)		
	VOLUMENES BAJOS	VOLUMENES MEDIOS	VOLUMENES ALTOS
40	38	35	33
50	47	42	40
60	56	52	45
70	63	60	55
80	72	65	60
100	88	75	—
120	105	85	—

Fuente: Arboleda Vélez, Germán; (1a. Ed). (2011); Vías Urbanas

Velocidad específica (VCH)

Velocidad máxima probable con la que se movilizan los usuarios en la vía en un punto determinado. La velocidad específica (VCH) esta determinada tanto por las características de la vía como trazado, estado físico de la superficie, intensidad del tránsito; como por las condiciones atmosféricas, señalización y tipo de vehículo en movimiento, lo cual, determina las diferentes restricciones u oportunidades que tiene los usuarios de modificar la velocidad de diseño.

El procedimiento para el cálculo de la velocidad específica de los elementos geométricos del trazado se realiza según la metodología establecida en la Tabla 2.2. del Manual de Diseño Geométrico del INVIAS, 2008.

Tabla 16
Velocidad específica de una curva horizontal

Velocidad Específica de la Curva horizontal anterior V_{CH} (km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) ≤ 50 km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) > 50 km/h				
	Longitud del Segmento recto anterior (m)					Longitud del Segmento recto anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
$\Delta < 45^\circ$		$\Delta \geq 45^\circ$	$\Delta < 45^\circ$				$\Delta \geq 45^\circ$			
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Invias 2008

De acuerdo con lo anterior, se resalta que todos los elementos geométricos de una vía deben estar diseñados mínimo a la V_{TR} y máximo a la $V_{TR} + 20$.

Vehículo de diseño

Se considera como vehículo de diseño de la intersección, aquel vehículo con exigencias mayores que utilizara de manera frecuente la infraestructura objeto del presente trabajo, condicionando de esta manera el dimensionamiento los elementos críticos del trazado del diseño como anchos de carril, calzada, bermas y sobreelevaciones de la sección transversal (MDGC 2008). Para su determinación se tiene en cuenta la clasificación vehicular definida en el estudio de tránsito y el tipo de operación de la vía, así como la composición vehicular típica de la zona.

Para efectos del presente diseño geométrico, se adopta la clasificación estipulada en la Resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 (MDGC 2008), la cual, establece como vehículos livianos a aquellos con menos de cinco toneladas (5.0 T) de capacidad, que inciden directamente en las velocidades máximas y en las distancias de visibilidad de paradas y de adelantamiento como automóviles, camionetas y camperos; y como vehículos pesados a

aquellos con más de cinco toneladas de capacidad quienes inciden en la pendiente longitudinal y longitud crítica de pendiente como buses y vehículos de transporte de carga. (INVIAS, 2008).

Cabe resaltar que en la Intersección la Virgen los ramales de enlace y acceso deberán cumplir igualmente con la evaluación de los radios de giro especificados para el vehículo de diseño, garantizando en el ancho de la sección y ante una situación de detección del vehículo de diseño el paso de un segundo vehículo de menor tamaño.

En la Tabla 17, se relacionan los vehículos de diseño presentados en la Tabla 2.4 del MDGC 2008. Se define el 3S2 como el vehículo de diseño para el proyecto.

Tabla 17

Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Vehículo liviano	-
Bus mediano	-
Bus grande	-
2	Camión de dos (2) ejes - Camión sencillo
3	Camión de tres (3) ejes - Dobletroque
3S2	Tractocamión de tres (3) ejes con Semirremolque de dos (2) ejes

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS 2008, tabla 2.4

A continuación, se presentan las dimensiones principales de los vehículos de diseño

Tabla 18

Dimensiones principales de los vehículos de diseño.

CATEGORÍA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO (m)	LONGITUD TRACTOCAMIÓN (m)	LONGITUD SEMIRREMOLQUE (m)	FIGURA No.
Vehículo liviano	5.00	1.80	-	-	2.2.
Bus mediano	10.91	2.44	-	-	2.3.
Bus grande	13.00	2.60	-	-	2.4.
2	11.00	2.50	-	-	2.5.
3	11.40	2.50	-	-	2.6.
3S2	20.89	2.59	4.57	14.63	2.7.

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS 2008, tabla 2.5

Trayectoria mínima de diseño

Para la selección del vehículo de diseño, se considera además de los radios de giro mínimos la configuración de la trayectoria de diseño en el eje vehicular, dada en función del

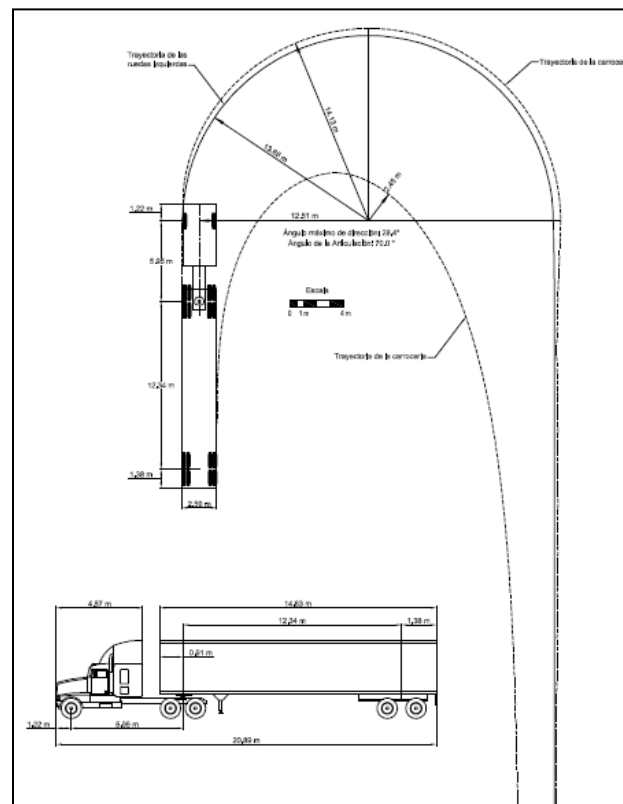
ancho de la calzada en el inicio de la curva, la distancia entre ejes, traza exterior de la saliente frontal en el arco circular definido por el radio y la trayectoria de la rueda trasera interior (AASHTO, 2011).

Sobreanchos

En curvas circulares, debido a la baja apreciación de la posición de ellos vehículos los usuarios experimentan dificultades para mantenerse la trayectoria del vehículo en el eje, por lo cual, se debe considerar un ancho superior al establecido en la tangente debido a la diferencia de recorrido que deben efectuar las llantas delanteras respecto a las llantas traseras, siendo el extremo izquierdo delantero quien define la trayectoria exterior del vehículo, por lo tanto, con el fin de mantener condiciones de seguridad similares a las establecidas en los tramos rectos, se determina para los retornos valores de sobreanchos en función de la simulación en el software Topo 3 de las trayectorias vehiculares. <https://nodubitatio.es.tl/Sobreancho.htm>

Ilustración 13

Dimensiones y trayectoria de giro para Camiones 3S2



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS 2008, tabla 2.7

Peralte máximo (emax)

El peralte máximo en carreteras primarias y secundarias se establece en ocho por ciento (8%) según lo indicado en el MDGC 2008, sin embargo, teniendo en cuenta los espacios disponibles para el desarrollo del trazado de las alternativas propuestas y con el fin de garantizar un adecuado empalme entre los ramales de enlace y el corredor principal, así como el giro adecuado de los vehículos en los retornos se estableció en ambos casos un peralte máximo del 6%.

Para el cumplimiento de la inclinación longitudinal de la rampa de peraltes tanto en el corredor principal, como en los retornos y enlaces se considera lo señalado en el numeral 3.2.1 del MDG-Invias 2008.

Tabla 19

Valores máximos y mínimos del peralte de la pendiente longitudinal para rampas de peralte

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V _{CH}) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs	
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1.35	0.1 x a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008, Tabla 3.6

Radio mínimo de curvatura (R_{min})

El radio mínimo corresponde al valor límite que debe tener una curva para una velocidad específica en función del peralte máximo y el coeficiente de fricción transversal

máxima.¹, así las cosas, el valor de radio mínimo es utilizado en las situaciones en las que, de acuerdo con las condiciones topográficas y de infraestructura existente, el trazado del diseño debe ser evaluado y ajustado en función del radio mínimo permitido y del peralte para cada curva, con el fin de brindar comodidad y seguridad a los usuarios.

En la tabla a continuación, se relacionan los radios de curva mínima en función de la velocidad de diseño. Para el corredor principal con velocidad de diseño de 80 Km/h se determina un radio mínimo de 229 m, y para los ramales de enlace y retornos que cuentan con velocidad de diseño de 30 K/h y 40 K/hm se trabaja con valores de 41 m y 21 m respectivamente como radio mínimo.

Tabla 20

Radios mínimos para peralte máximo $e_{max}= 8\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	0,31	40,6	41
50	8,0	0,19	0,27	72,9	73
60	8,0	0,17	0,25	113,4	113
70	8,0	0,15	0,23	167,8	168
80	8,0	0,14	0,22	229,1	229
90	8,0	0,13	0,21	303,7	304
100	8,0	0,12	0,20	393,7	394
110	8,0	0,11	0,19	501,5	501
120	8,0	0,09	0,17	667,0	667
130	8,0	0,08	0,16	831,7	832

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008, Tabla 3.2

Tabla 21

Radios mínimos para peralte máximo $e_{max}= 6\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	6,0	0,35	0,41	7,7	15 ⁽¹⁾
30	6,0	0,28	0,34	20,8	21
40	6,0	0,23	0,29	43,4	43
50	6,0	0,19	0,25	78,7	79
60	6,0	0,17	0,23	123,2	123

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008, Tabla 3.3

Peraltes y transición de peralte

De acuerdo con velocidades asignadas en las curvas del diseño y los radios adoptados se determina el valor del peralte en función de lo señalado en la tabla 3.4 del Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

Tabla 22

Radios (Rc) según Velocidad Especifica (VCH) y peraltes (e) para $e_{max} = 8\%$

e (%)	V _{CH} = 40 km/h R (m)	V _{CH} = 50 km/h R (m)	V _{CH} = 60 km/h R (m)	V _{CH} = 70 km/h R (m)	V _{CH} = 80 km/h R (m)	V _{CH} = 90 km/h R (m)	V _{CH} = 100 km/h R (m)	V _{CH} = 110 km/h R (m)	V _{CH} = 120 km/h R (m)	V _{CH} = 130 km/h R (m)
1,5	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2,0	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2,2	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2,4	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2,6	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2,8	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3,0	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3,2	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3,4	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3,6	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3,8	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4,0	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4,2	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4,4	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4,6	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4,8	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5,0	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5,2	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5,4	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5,6	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5,8	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6,0	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6,2	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6,4	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6,6	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6,8	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7,0	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7,2	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7,4	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7,6	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7,8	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8,0	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008, Tabla 3.4

La transición de peralte se efectuó sobre cada una de las curvas diseñadas.

Longitud de espirales

Según lo indicado en el MDGC 2008 se verifican los tres criterios para la determinación de la longitud mínima de las espirales, adoptando en todos los casos el valor más crítico.

Entretangencias horizontales

Las entretangencias definen la distancia entre los puntos final (PT o ET) e inicial (PC o TE) de dos curvas horizontales sucesivas, la cual, varía en función de su sentido y debe garantizar para cada una de las dos curvas sucesivas la longitud necesaria para realizar la transición entre una sección transversal con bombeo normal a una sección transversal con peralte.

Los valores de entretangencias del trazado de las dos alternativas planteadas se determinan de acuerdo con lo establecido en el numeral 3.4 del MDG Invias 2008.

Pendientes máximas y mínimas

El valor de la pendiente mínima está condicionada a fin de garantizar un adecuado drenaje de la vía, por ello, en el diseño propuesto, se toma como pendiente mínima 0.5%.

Por su parte, teniendo en cuenta que los diseños de las alternativas planteadas se ajustan a la rasante de la vía existente (terreno plano), se manejan pendientes máximas de 5.6% en los accesos a los puentes, valores de pendiente que se adoptan a los valores máximos especificadas en la tabla 4.2. del MDGC 2008 establecidos en función de la velocidad específica de la tangente vertical (VTV).

Tabla 23

Relación de pendiente y velocidad específica

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V _{TV} (km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	5	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008.

Longitud de tangente vertical máxima y mínima

Teniendo en cuenta que el trazado del alineamiento vertical se realizó considerando la geometría existente de la vía buscando en las dos situaciones mejorar las condiciones de la superficie de rodadura, se utilizaron puntos de quiebre verticales en los casos en donde se

presentan pendientes menores o iguales a 2% o por puntos obligados para realizar empalmes con las rasantes de las vías existentes o proyectadas de los retornos o enlaces.

Para el corredor principal se considera una distancia mínima entre PIV's de 225 m.

Tabla 24

Longitud mínima de la tangente vertical

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MÍNIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008, Tabla 4.3

Sección transversal de la carretera

La sección transversal de una vía está definida por los elementos que contiene la carretera en un plano de corte vertical normal al alineamiento horizontal, como ancho de calzada y berma, cunetas y taludes.

Ancho de Calzada

Con el fin de garantizar la sección de calzada establecida en el manual de diseño geométrico y en las especificaciones de la ANI para el tramo concesionado, se proyecta un ancho de carril de 3.65 m, alcanzando así un ancho de calzada de 7.30 m.

Para los carriles de aceleración y desaceleración se estableció un ancho igual al ancho del carril de diseño (3.65m) y el ancho de los ramales de salida o entrada se estableció en función del radio interior.

El ancho de los retornos es de 3.65 para los carriles de aceleración y desaceleración y 10.5 metros para el radio de giro, cumpliendo así el mínimo de carril con espacio para sobrepasar un vehículo estacionado.

Tabla 25

Ancho de calzada en ramales de salida o de entrada enlace en función del Radio

RADIO INTERIOR (m)	ANCHO DE UN CARRIL SENCILLO, W (m)	ANCHO DE CALZADA CON UN ÚNICO CARRIL CON ESPACIO PARA SOBREPASAR UN VEHÍCULO ESTACIONADO, W (m)
15	6,20	9,50
20	5,70	8,90
25	5,30	8,40
30	5,00	8,00
40	4,60	7,40
50	4,50	7,00
75	4,50	6,50
100	4,50	6,20
150	4,50	6,10
Derecho	4,50	6,00

Fuente: Manual de diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008, Tabla 6.3

Ancho de Berma

Los anchos de bermas se proyectan de 2.50m para la externa y 1.00m para la interna en la doble calzada.

Bombeo

Corresponde a la inclinación transversal de las entretangencias horizontales de las calzadas con el fin de evacuar las aguas superficiales, el cual será del dos por ciento (2%)

Consideraciones de diseño de la Intersección la Virgen

Una intersección vial se denomina al área en donde dos o más vías se cruzan (Solano, E, 2019a), presentandose diferentes tipos de conflicto de acuerdo con su configuración. La intersección la Virgen corresponde a una intersección de cuatro ramas en donde se presentan los siguientes tipos de conflictos, los cuales son analizados en función de los flujos vehiculares actuales y futuros expresados en ADES.

Tabla 26

Flujos vehiculares actuales y futuros por movimientos

MOVIMIENTO	FLUJO VEHICULAR (Q15) (ADE/HORA)	FLUJO VEHICULAR EN 25 AÑOS (Q15) (ADE/HORA)
1	360	783
2	60	130
3	44	96
4	12	26

MOVIMIENTO	FLUJO VEHICULAR (Q15) (ADE/HORA)	FLUJO VEHICULAR EN 25 AÑOS (Q15) (ADE/HORA)
5	24	52
6	16	35
7	124	270
8	168	365
9	32	70
10	44	96
11	48	104
12	36	78
13	188	409

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Entrecruzamientos para los 13 movimientos en hora pico con flujo vehicular del año 2021

ANALISIS DE CONFLICTOS INTERSECCION LA VIRGEN CON EL FLUJO VEHICULAR DE 2021														
MOVIMIENTO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	FLUJO	360	60	44	12	24	16	124	168	32	44	48	36	188
1	360		60		12			124		32				
2	60							60						
3	44												36	44
4	12					12	12						12	12
5	24	24		24				24		24			24	24
6	16												16	16
7	124						16			32			36	124
8	168	168								32				
9	32					24			32		32			
10	44	44				24		44	44				36	44
11	48	48				24			48				36	
12	36	36				24	16		36					36
13	188													

DIVERGENCIA	484
CONVERGENCIA	572
CRUCE	572

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Entrecruzamientos para los 13 movimientos en hora pico con flujo vehicular del año 2046

ANÁLISIS DE CONFLICTOS INTERSECCIÓN LA VIRGEN CON EL FLUJO VEHICULAR AL FINAL DEL PERIODO DE DISEÑO 2026														
MOVIMIENTO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	FLUJO	783	130	96	26	52	35	270	365	70	96	104	78	409
1	783		130		26			270		70				
2	130							130						
3	96												78	96
4	26					26	26						26	26
5	52	52		52				52		52			52	52
6	35												35	35
7	270						35			70			78	270
8	365	365								70				
9	70					52			70		70			
10	96	96				52		96	96				78	96
11	104	104				52			104				78	
12	78	78				52	35		78					78
13	409													

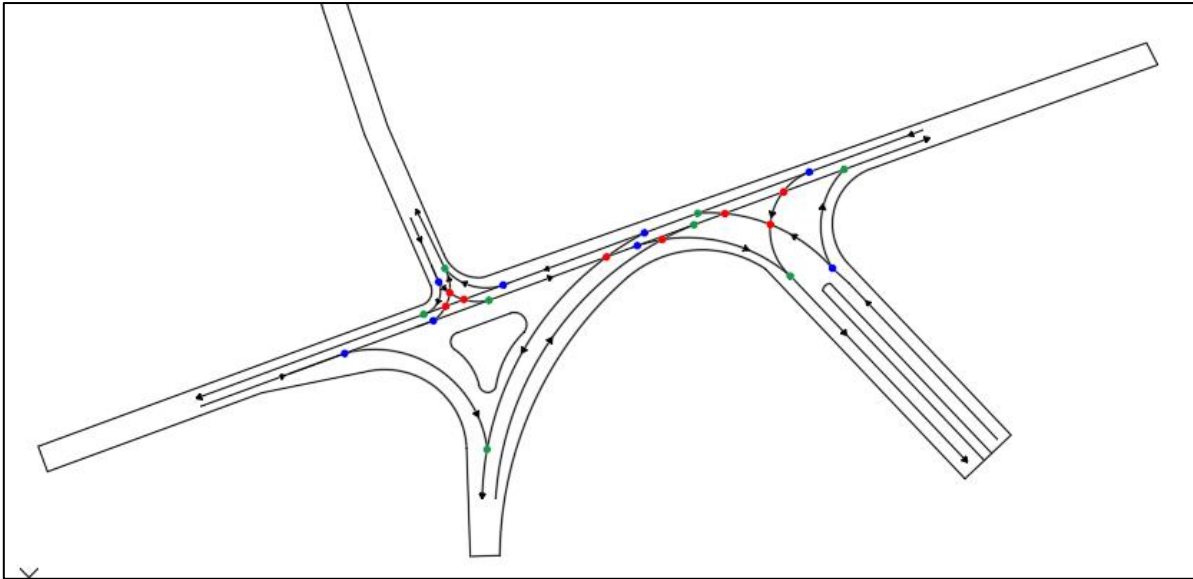
DIVERGENCIA	1053
CONVERGENCIA	1242
CRUCE	1244

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 25 y 26, se indican los 13 movimientos que se presentan en la Intersección la Virgen, los cuales, al entrecruzarse generan 43 puntos de conflicto, que, de acuerdo con el flujo vehicular máximo por hora actual y en el periodo de diseño (25 años), representan un total de posibles conflictos o siniestros viales igual a 1628 y 3539 respectivamente, clasificados en divergentes, convergentes y de cruce. Lo anterior, evidencia la necesidad de analizar su funcionamiento y realizar acciones encaminadas a reducir los riesgos existentes.

Ilustración 14

Puntos de conflicto



Fuente: Elaboración propia

Las dos alternativas de diseño planteadas se proyectan teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Priorización y separación de los movimientos:

Los movimientos principales, en este caso el sentido Villavicencio – Yopal y Yopal – Villavicencio tienen prevalencia sobre los movimientos secundarios, los cuales confluyen al municipio de Aguazul y hacia el cerro de la Virgen, siendo limitados mediante la implementación de señalización.

Asimismo, con el fin de facilitar la salida o incorporación desde y hacia el movimiento principal se proyectan carriles de único sentido de aceleración y desaceleración.

De acuerdo con lo anterior, es importante garantizar que los movimientos y canalizaciones diseñadas sean de fácil comprensión y no permitan al conductor realizar movimientos incómodos.

- Consistencia con los volúmenes de tránsito:

Evaluación adecuada de los volúmenes de tránsito proyectados para el periodo de diseño, previniendo que el proyecto sea sobredimensionado o minimizado.

- Visibilidad y previsión:

Se garantiza la distancia de visibilidad de parada, con el fin de brindar a los conductores posibilidad de visualizar vehículos u elementos de la intersección y realizar las maniobras de cruce, de igual forma, se consideran las instalaciones al margen de la vía.

- Capacidad

De igual forma, para el diseño de las alternativas, se tiene en cuenta la capacidad con la que, en condiciones normales de tránsito en relación al flujo vehicular, clima y dispositivos de control, los vehículos transitan por una sección en un tiempo determinado. La capacidad de las vías esta dada en ADES/hora, teniendo en promedio por carril los valores de capacidad relacionados a continuación (Solano, E. (2019b).

Ilustración 16

Valores de ADES promedio por carril

CAPACIDAD	
(Arboleda, 2015, p. 33)	
Los valores promedio por carril de la capacidad de una vía se presentan a continuación:	
Vías Arterias:	
Calzadas principales:	1000 ades/hora por carril.
Vías secundarias:	900 ades/hora por carril.
Intersecciones a Desnivel:	
Calzadas principales:	1350 ades/hora.
Vías de enlace:	1200 ades/hora.
Intersecciones Semaforizadas:	
Capacidad por carril:	800 ades/hora

Fuente: Solano, E. (2019b).

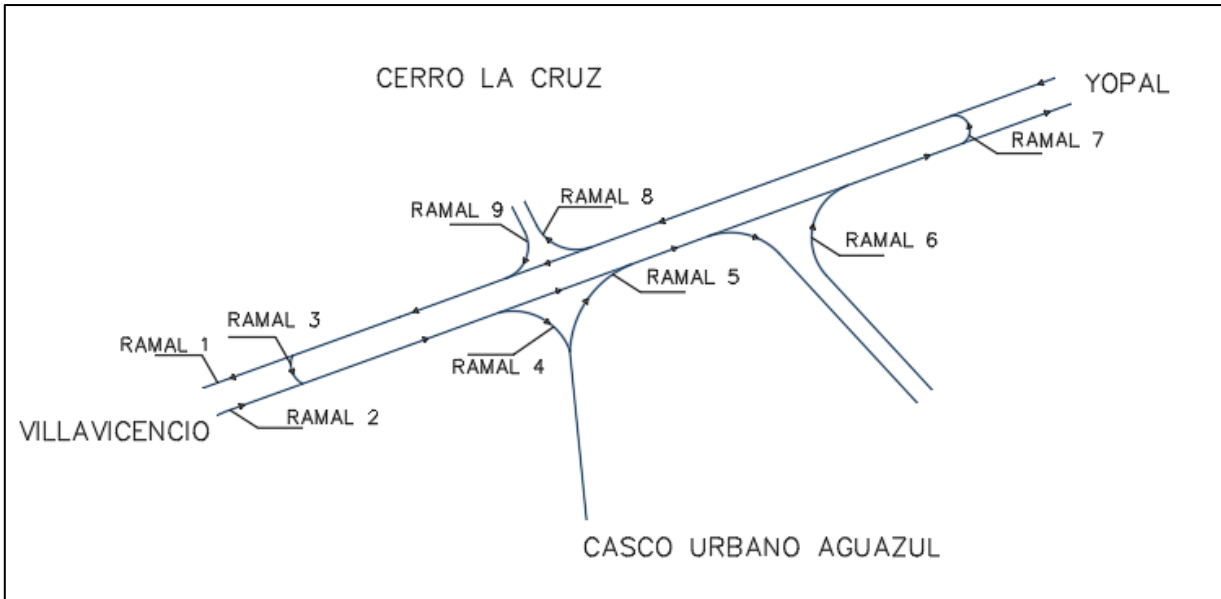
Así las cosas, se evalúa la capacidad de las alternativas planteadas, considerando los flujos vehiculares por cada eje de diseño planteado:

Análisis de capacidad – Alternativa 1

A continuación, se presenta la descripción de los ejes de diseño determinados para la alternativa 1:

Ilustración 15

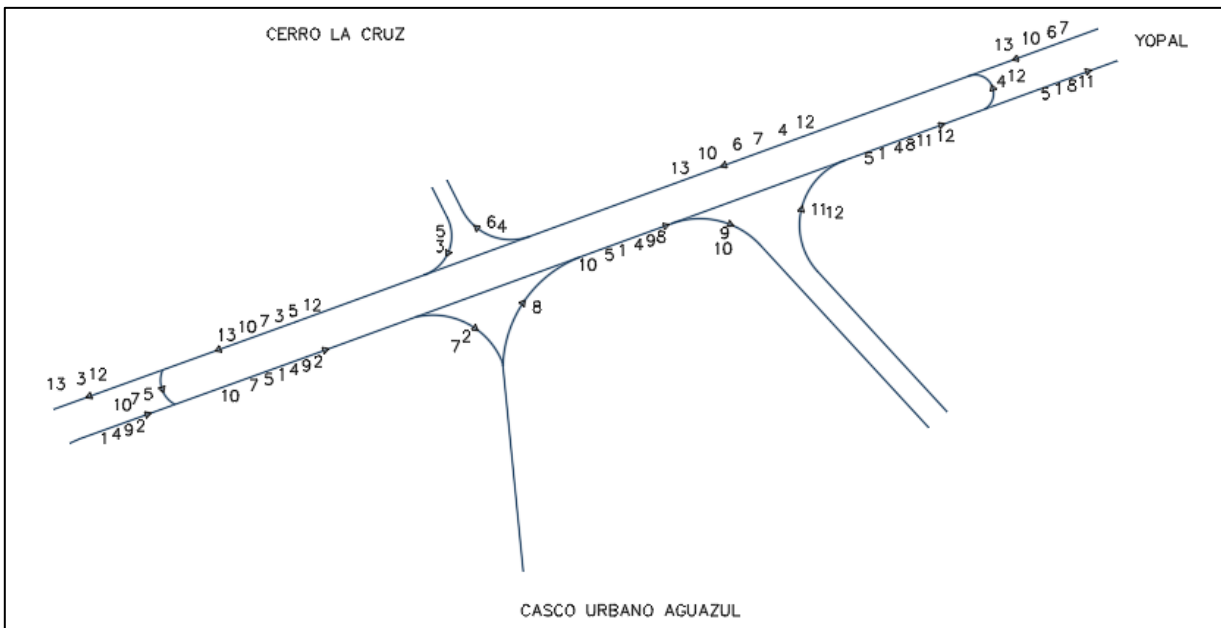
Ejes de diseño – Alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16

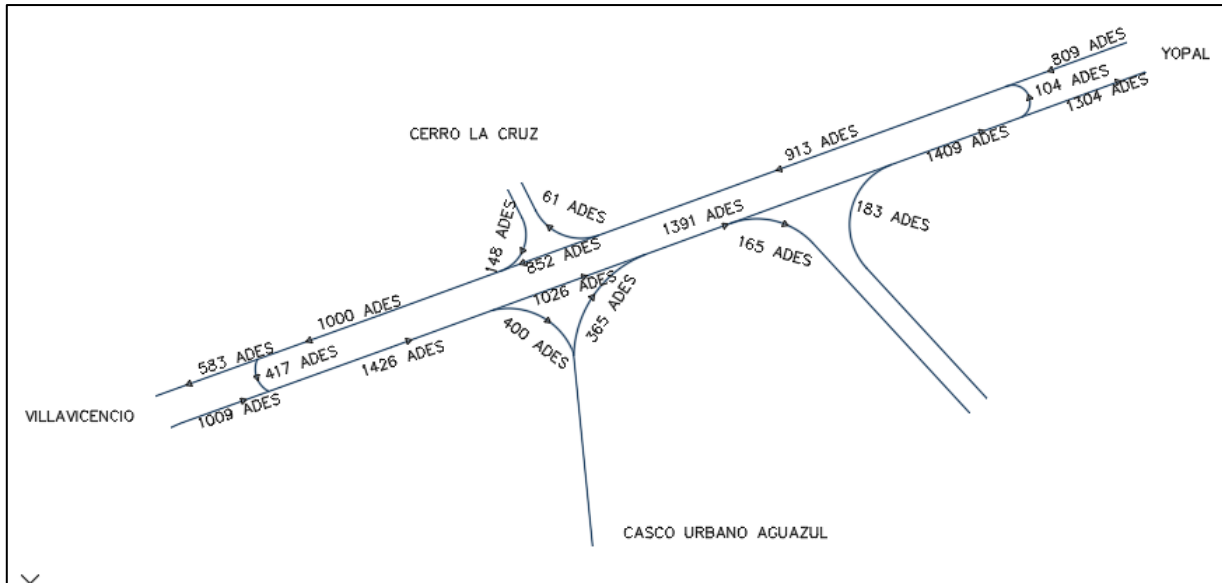
Movimientos que circulan por ejes de diseño – Alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17

Flujo vehicular futuro en ADES por eje de diseño – Alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Definición de número de carriles por ejes de diseño – Alternativa 1

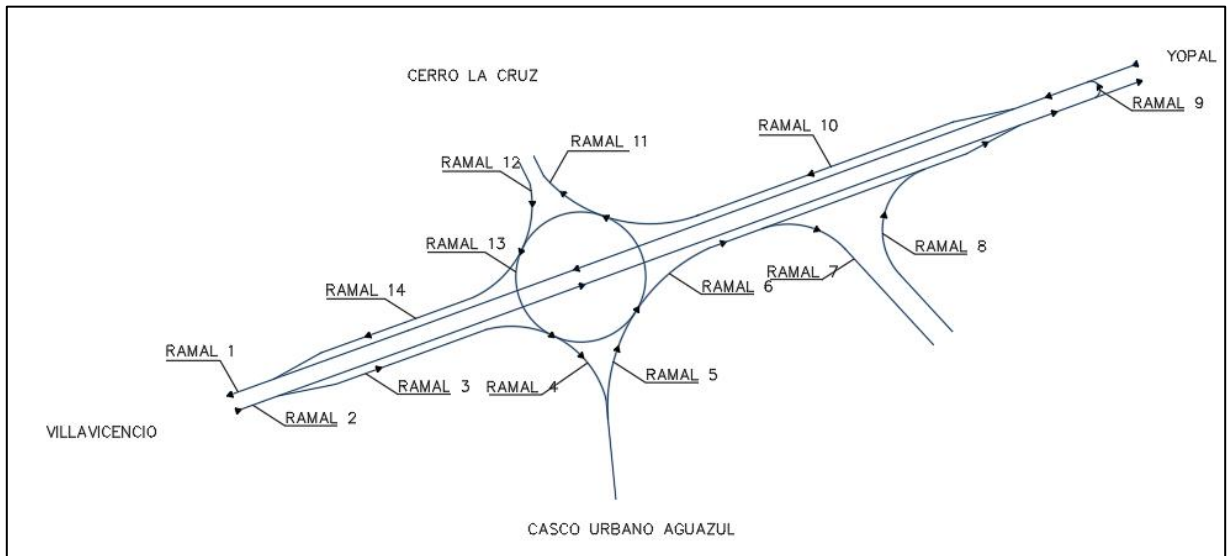
RAMAL	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE DISEÑO [km/h]	No. CARRILES
1	CALZADA PRINCIPAL SENTIDO YOPAL - VILLAVICENCIO	80	2
2	CALZADA PRINCIPAL SENTIDO VILLAVICENCIO - YOPAL	80	2
3	RETORNO DE RAMAL 1 A 2	30	1
4	SALIDA RAMAL 2 A CALLE 7	30	1
5	SALIDA CALLE 7 A RAMAL 2 Y SALIDA RAMAL 2 A CALLE 15	40	1
6	SALIDA CALLE 15 A RAMAL 2	40	1
7	RETORNO DE RAMAL 2 A 1	30	1
8	SALIDA RAMAL 1 A CERRO LA CRUZ	40	1
9	SALIDA CERRO LA CRUZ A RAMAL 1	40	1

Análisis de capacidad – Alternativa 2

A continuación, se presenta la descripción de los ejes de diseño determinados en la alternativa 2, con sus respectivas velocidades:

Ilustración 18

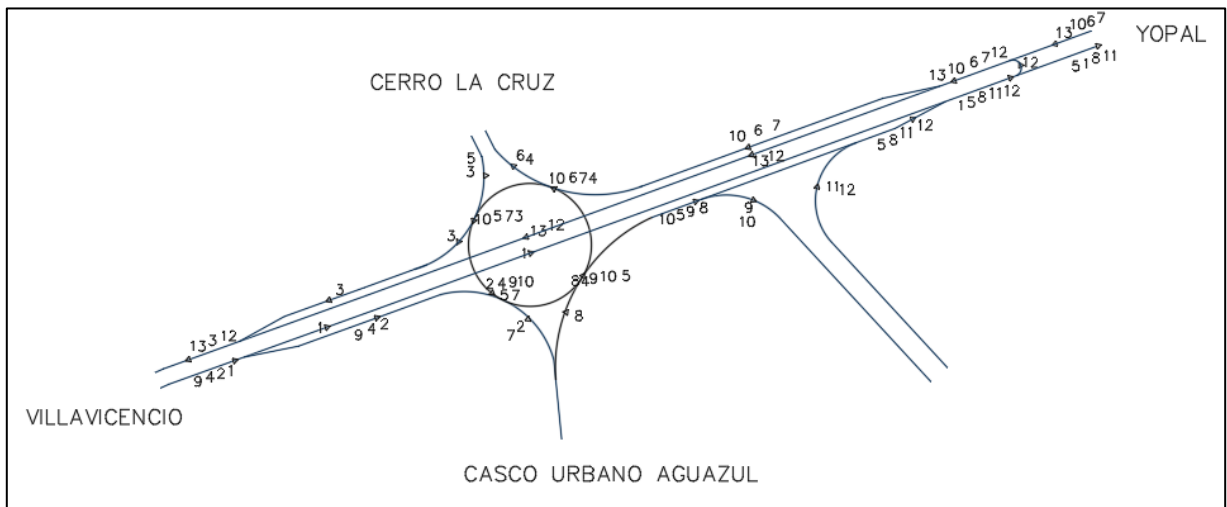
Ejes de diseño – Alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19

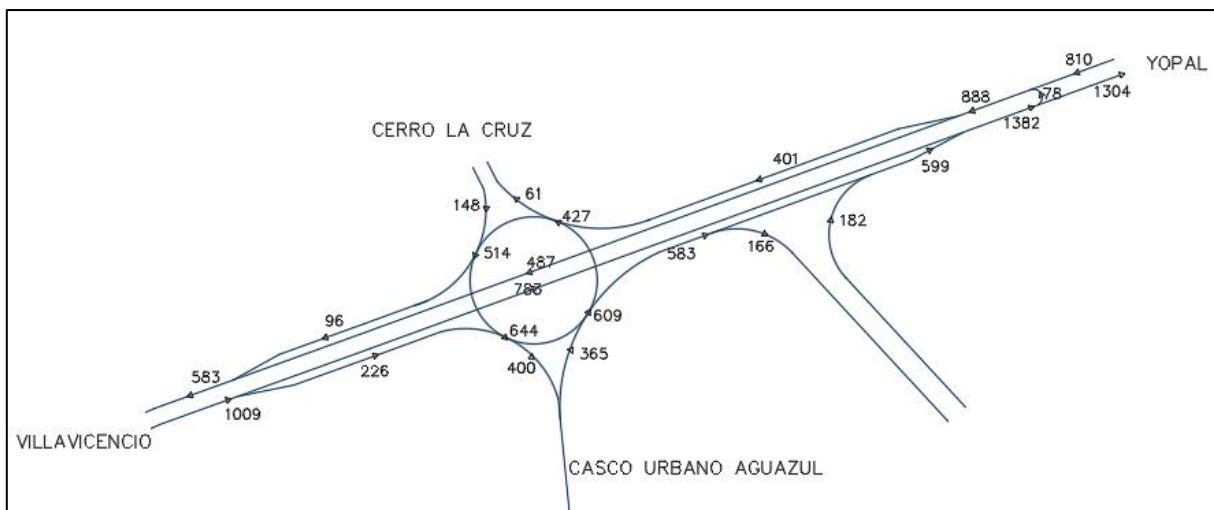
Movimientos que circulan por ejes de diseño – Alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20

Flujo vehicular futuro en ADES por eje de diseño – Alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Definición de número de carriles por ejes de diseño – Alternativa 2

RAMAL	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE DISEÑO [km/h]	No. CARRILES
1	CALZADA PRINCIPAL SENTIDO YOPAL - VILLAVICENCIO	80	2
2	CALZADA PRINCIPAL SENTIDO VILLAVICENCIO - YOPAL	80	2
3	SALIDA RAMAL 2 A GLORIETA	Varibale	1
4	SALIDA GLORIETA A CALLE 7	30	1
5	SALIDA CALLE 7 A GLORIETA	30	1
6	SALIDA GLORIETA A RAMAL 2	Varibale	1
7	SALIDA RAMAL 6 A CALLE 15	30	1
8	SALIDA CALLE 15 A RAMAL 6	40	1
9	RETORNO DE RAMAL 2 A 1	30	1
10	SALIDA RAMAL 1 A GLORIETA	Varibale	1
11	SALIDA GLORIETA A CERRO LA CRUZ	30	1
12	SALIDA CERRO LA CRUZ A GLORIETA	30	1
13	GLORIETA	30	1
14	SALIDA GLORIETA A RAMAL 1	Varibale	1

Fuente: Elaboración propia

Criterios de diseño para intersección La Virgen

La alternativa 1 considera una intersección a nivel canalizada con retornos y ramales de ingreso y salida hacia y desde el municipio de Aguazul y el cerro de la Cruz, en donde normalmente los vehículos tienen que frenar o acelerar para salir, por ello, para dar atención a los situaciones de conflicto de ingreso y de salida en los ramales de conexión de la Intersección la Virgen con la doble calzada Villavicencio - Yopal se proyectan carriles de aceleración y desaceleración paralelos a la calzada, con el fin de que usuarios que transitan por la vía puedan realizar cambios de velocidad por fuera de la calzada y maniobras mas flexibles y oportunas. Para lo anterior, se consideran los criterios básicos según INVIAS (2008):

- Angulo de entrada (α) entre 60 y 90 grados.
- Radio mínimo de las curvas igual al radio mínimo de giro del vehículo de diseño
- En lo posible garantizra pendiente longitudinal menor de 4% en las calzadas confluyentes para facilitar a los vehículos el acceso a la calzada principal
- Distancia de visibilidad de cruce
- Diseño de carriles de cambio de velocidad

Carriles de aceleración y desaceleración

La definición de las longitudes de los carriles de aceleración y desaceleración total y las respectivas longitudes de transición se calculan en función de la velocidad especifica de la calzada destino u origen y de los ramales de salida y entrada respectivamente, de acuerdo con los criterios referenciados en las siguientes tablas, asimismo, los anchos de carril deben ser igual al del carril adyacente, sin embargo, no puede ser menor a 3.30 m.

Tabla 29*Longitud mínima de carril de aceleración*

VÍA PRIMARIA (CALZADA DE DESTINO)								
Velocidad específica del ramal de entrada ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de destino inmediatamente anterior al inicio del carril de aceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de aceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	90	70	55	45	-	-	-
60	55	140	120	105	90	55	-	-
70	60	185	165	150	135	100	60	-
80	65	235	215	200	185	150	105	-
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
VÍA SECUNDARIA (CALZADA DE DESTINO)								
50	45	55	45	45	45	-	-	-
60	55	90	75	65	55	55	-	-
70	60	125	110	90	75	60	60	-
80	65	165	150	130	110	85	65	-
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Fuente: INVIAS, 2008.

Para la definición de la longitud mínima de los carriles de desaceleración, esta se debe considerar de manera independiente al tipo de carretera a la que empalman, así las cosas, la velocidad del ramal de salida se define según criterio de diseñador.

Tabla 30*Longitud mínima de carril de desaceleración*

Velocidad específica del ramal de salida ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de origen inmediatamente anterior al inicio del carril de desaceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de desaceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	70	50	45	45	-	-	-
60	55	90	70	70	55	55	-	-
70	60	105	90	90	75	60	60	-
80	65	120	105	105	90	75	65	-
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

Fuente: INVIAS, 2008.

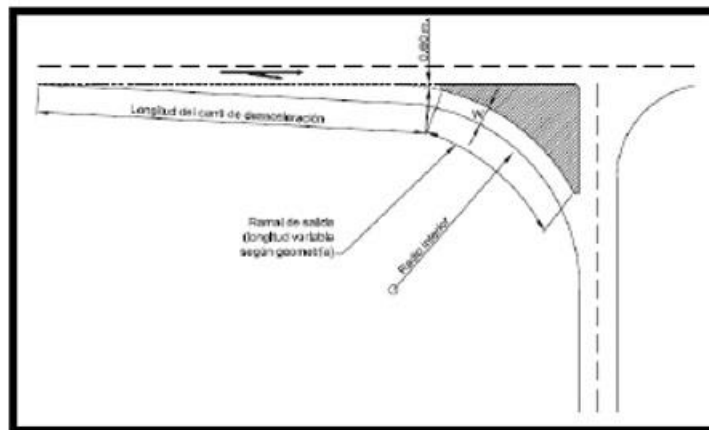
Isletas

Para brindar oportunidades de maniobra en las situaciones de conflicto, se definen zonas de isletas entre carriles de circulación, con el fin de guiar a los conductores, proporcionar áreas de refugio a peatones y localizar señalización vertical e iluminación.

Para el dimensionamiento de las isletas se debe tener en cuenta lo establecido en el Manual de Diseño Geométrico, 2008, considerando el bombeo que tienen las calzadas que se unen.

Ilustración 21

Ancho de ramal de salida o de entrada



Fuente: AASHTO

Tabla 31

Ancho de calzada en ramales de salida o entrada enlace en función del radio interno

RADIO INTERIOR (m)	ANCHO DE UN CARRIL SENCILLO, W (m)	ANCHO DE CALZADA CON UN ÚNICO CARRIL CON ESPACIO PARA SOBREPASAR UN VEHÍCULO ESTACIONADO, W (m)
15	6,20	9,50
20	5,70	8,90
25	5,30	8,40
30	5,00	8,00
40	4,60	7,40
50	4,50	7,00
75	4,50	6,50
100	4,50	6,20
150	4,50	6,10
Derecho	4,50	6,00

Fuente: AASHTO (2008)

CAPÍTULO V

Gestión Predial

Con la construcción del proyecto de mejoramiento del corredor existente en la Intersección La Virgen, se obtendrán diferentes beneficios relacionados con el aumento de la capacidad de la vía, disminución de índices de accidentalidad, reducción de tiempos de viaje y trayectos al poder conectarse de manera directa, cómoda y segura la doble calzada Villavicencio – Yopal con el municipio de Aguazul y con el Cerro proporcionando a los usuarios condiciones seguras de movilidad, sin embargo, para la puesta en la marcha del proyecto de mejoramiento se verán afectados diferentes estructuras, edificaciones o lotes que se encuentran en la zona de influencia a causa de los procesos constructivos requeridos para la construcción de las obras.

Por lo anterior, y tal como se definió en la propuesta de trabajo de grado, una vez establecidas las alternativas de diseño geométrico para la Intersección de la Virgen, se realizará la verificación de la incidencia de cada una de ellas en la zona de influencia, con el fin de determinar el área de afectación con la construcción del proyecto, sin perjuicio del estudio de títulos y gestión predial que la entidad encargada de realizar la construcción del proyecto, en este caso la Concesionaria deba realizar y entregar a la Agencia Nacional de Infraestructura para la titularidad y disponibilidad de los predios, así como los costos relacionados con la adquisición de los predios, aspectos administrativos técnicos o judiciales, por lo tanto, para el proyecto no se realizará análisis comerciales corporativos, teniendo en cuenta que para efectos de la selección, estos estudios no constituyen un método de evaluación

Así las cosas, la evaluación predial de las alternativas de diseño planteadas, se realiza teniendo en cuenta los criterios señalados en la Guía de Adquisición Predial publicado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019), correspondientes a 1. Investigación cartográfica, Jurídica, técnica y socioeconómica del predio, 2. Elaboración de los instrumentos prediales, y 3. Desarrollo de las actividades para adquirir el predio, no obstante, como se indicó previamente para efectos de la evaluación de afectación predial del presente trabajo de profundización solo se tendrán en cuenta las actividades relacionadas con los siguientes insumos:

Verificación de la información catastral del corredor y elaboración de la tira topográfica georreferenciada

Mediante la información georreferenciada correspondiente a la tira predial de la zona suministrada por Concesionaria se identifican los predios de la zona del proyecto, con el fin de establecer los linderos de cada predio que se localizan sobre el eje de la vía; así como de todos los detalles del entorno como corrientes de agua, y sitios de interés.

Para evaluar de manera sencilla y eficiente la afectación predial, se sobreponen los diseños en planta de cada una de los escenarios planteados, teniendo en cuenta todos los elementos de la vía como ancho de calzada, bermas, cunetas, además de la línea de chaflanes que se generan por causa de los movimientos de tierras sobre el plano predial referenciado, en donde se señala el área requerida para el desarrollo del proyecto, a fin de definir el área comprometida con los diseños, incluyendo área de reserva para adquisición incluyendo construcciones, edificaciones y zonas verdes o vegetales, al respecto, debe tenerse en cuenta que, cuando el área requerida afecta en un porcentaje igual o mayor al 60% el área total del predio, dicha área sobrante se tiene en cuenta en el estudio de análisis predial.

Para evaluar de manera sencilla y eficiente la afectación predial, se sobreponen los diseños en planta de cada una de los escenarios planteados, teniendo en cuenta todos los elementos de la vía como ancho de calzada, bermas, cunetas, además de la línea de chaflanes que se generan por causa de los movimientos de tierras sobre el plano predial referenciado, en donde se señala el área requerida para el desarrollo del proyecto, a fin de definir el área comprometida con los diseños, incluyendo área de reserva para adquisición incluyendo construcciones, edificaciones y zonas verdes o vegetales, al respecto, debe tenerse en cuenta que, cuando el área requerida afecta en un porcentaje igual o mayor al 60% el área total del predio, dicha área sobrante se tiene en cuenta en el estudio de análisis predial.

Investigación técnica, Cuantificación de áreas por predio

Una vez sobrepuesta de manera gráfica la afectación total de cada alternativa planteada se determina la siguiente información en unidad de medida y en porcentaje, considerando la distancia del alineamiento exterior del diseño con la intersección de los paramentos de los lomos no afectados más próximos a la vía.

- Predios totalmente afectados

- Predios afectados parcialmente

Investigación socioeconómica

Teniendo la totalidad de los predios afectados con la ejecución de cada una de las alternativas del proyecto se evalúa la unidad social productiva de cada predio intervenido de acuerdo con su actividad socioeconómica, lo cual, determina en gran medida las variables económicas de la ejecución del proyecto, las cuales, se evalúan no solo por la valoración física del terreno si no por su actividad comercial.

Así las cosas, la clasificación socioeconomía de los predios se evalúa de la siguiente manera:

- Residencial
- Residencial con actividad complementaria de comercio local o zonal, de servicios.
- Actividad múltiple.
- Dotacional institucional o privado.

De acuerdo con lo anterior, en las siguientes tablas se indican los resultados de la evaluación realizada:

Tabla 32

Afectación predial – Alternativa 1

AFECTACION PREDIAL ALTERNATIVA No. 1 DISEÑO A NIVEL – DOBLE CALZADA CON DOS RETORNOS		
AREA TOTAL (m ²)	AREA REQUERIDA (m ²)	AREA SI ES MAYOR A 60%(m ²)
359,915.41	47,611.50	48,156.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33

Afectación predial – Alternativa 2

AFECTACION PREDIAL ALTERNATIVA No. 2 DISEÑO A DESNIVEL – DOBLE CALZADA A DESNIVEL, GLORIETA A NIVEL, UN RETORNO		
AREA TOTAL (m ²)	AREA REQUERIDA (m ²)	AREA SI ES MAYOR A 60% (m ²)
183,246.06	35,493.11	35,671.13

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el área requerida para el desarrollo del proyecto, incluyendo los predios que tienen un porcentaje de afectación mayor al 60% , se tiene que con la alternativa 1 se requiere un área de 48.157 m² y con la alternativa 2 un área de 35.671 m², por lo cual, la alternativa 2 corresponde a la opción que, de acuerdo con el área de afectación se tendrá menor intervención con la construcción de la intersección, insumo que posteriormente será utilizado para el avalúo, negociación, adquisición y recuperación de predios (ANI, 2015).

CAPÍTULO VI

Señalización

Para la alternativa 2, con la cual se tiene una menor afectación predial, se determina un esquema o sistema de señalización vertical y horizontal, con el fin de que, en conjunto con las condiciones geométricas proyectadas se contribuya en la disminución y prevención de siniestros viales, orientando a los usuarios de la misma sobre los obstáculos o cuidados que se deben tener al circular por la intersección.

De acuerdo con Villa Mario (2015) la función de las señales de tránsito se basa en advertir, informar y orientar a los usuarios la ubicación y la dirección a la que se dirigen, para ello, teniendo en cuenta que su función principal es llamar la atención, esta debe tener completa visibilidad para que tanto peatones como conductores tengan oportunidad de reacción, por lo cual, deben ser estar ubicadas en el ancho de la sección transversal de la vía, ser reflectivas o en su defecto tener buena iluminación y sus mensajes y/o símbolos deben ser de fácil interpretación. De esta manera, la efectividad de la señalización vial esta dada, de acuerdo con la conducta y educación vial de los usuarios.

Normativa vigente

La determinación, el dimensionamiento, color, ubicación y demás detalles de las señales de regulación del tránsito vehicular en la Intersección La Virgen se realiza mediante los criterios establecidos en la normatividad vigente en el Manual de Señalización Vial – Dispositivos uniformes para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclo rutas de Colombia, 2015, de obligatorio cumplimiento tanto para Autoridades de Transito como para entidades relacionadas con construcción de vías y espacio público, con lo cual, se garantiza la

seguridad de los usuarios, así como la armonía, estética y comodidad en consideración con el diseño geométrico de la intersección.

Las especificaciones de los materiales utilizados en demarcación vial como pinturas, termoplásticos, plásticos en frío y cintas preformadas corresponden a las establecidas en la norma técnica colombiana NTC-4744, de igual forma, para la demarcación de pavimentos en pintura en frío, se deben cumplir los requisitos contemplados en la norma técnica colombiana NTC-1360-1. En el caso de las tachas reflectivas deberá cumplirse con lo especificado en la norma técnica colombiana NTC-4745.

Señalización Vertical

La señalización vertical corresponde a placas fijas instaladas en postes o estructuras adyacentes o sobre la vía, con las que, mediante símbolos o leyendas se indica a los usuarios sobre la existencia de riesgos y su naturaleza, prohibiciones respecto al uso del corredor e información de parámetros de comportamiento que permiten la correcta operación de la vía. De acuerdo con la información que presentan las señales verticales se dividen en reglamentarias, informativas y preventivas.

Señales Preventivas (SP)

Advierten a los usuarios sobre la existencia de condiciones de riesgo y su naturaleza. Las señales SP se caracterizan por su forma cuadrada (Excepto las señales SP-40, flecha direccional, y SP-54), esquinas redondeadas, fondo amarillo, con símbolos y orla negra, instaladas previo al riesgo señalado, a una distancia en función de la velocidad del proyecto.

Ilustración 22

Señales preventivas



Fuente: Manual de señalización vial. Ministerio de Transporte, 2015.

Las señales preventivas, se localizan previo del sitio de riesgo a prevenir o advertir, con el fin de que los conductores puedan percibir e identificar con tiempo el mismo, tomar la decisión y dar respuesta de manera segura con la maniobra que se requiera, a continuación se presenta la tabla con las recomendaciones a tener en cuenta:

Tabla 34

Criterios de diseño señalización preventiva

Limite actual o velocidad 85% (km/h)	Distancia de adelantamiento ¹								
	Condición A: Reducción de velocidad y cambio de carril con alto volumen de tránsito ²	Condición B: Velocidad máxima segura de la situación señalizada							
		0 ³	20 ⁴	30 ⁴	50	60 ⁴	80 ⁴	100 ⁴	110 ⁴
30	70 m	30 m ⁶	N/A ⁵	—	—	—	—	—	—
40	100 m	30 m ⁶	N/A ⁵	N/A ⁵	—	—	—	—	—
50	140 m	30 m ⁶	N/A ⁵	N/A ⁵	—	—	—	—	—
60	200 m	35 m	30 m ⁶	30 m ⁶	N/A ⁵	—	—	—	—
70	235 m	50 m	40 m	30 m ⁶	30 m ⁶	N/A ⁵	—	—	—
80	270 m	75 m	60 m	50 m	35 m	30 m ⁶	—	—	—
90	300 m	100 m	80 m	70 m	60 m	35 m	N/A ⁵	—	—
100	365 m	145 m	135 m	120 m	105 m	80 m	60 m	30 m ⁶	—
110	380 m	170 m	160 m	150 m	135 m	114 m	80 m	45 m	—

Fuente: Manual de señalización vial. Ministerio de Transporte, 2015.

Para el proyecto objeto del presente trabajo, se instalaron las señales preventivas que se muestran en el plano de señalización anexo.

Señales Reglamentarias (SR)

Advierten a los usuarios las restricciones, prohibiciones o limitaciones de uso de la vía, cuya omisión constituye falta. Las señales SR se caracterizan por su forma redonda (Excepto las señales SR-01 (Pare), SR-02(Ceda el paso), SR-38 (sentido único de circulación) y SR-39 (Sentido de circulación doble)), fondo blanco, con símbolos y letras negras, y anillos y líneas oblicuas en rojo, instaladas previo al riesgo señalado, a una distancia en función de la velocidad del proyecto; en caso de que las condiciones del tránsito o de la vía lo requiera y/o permita, pueden ser instaladas al costado izquierdo, para afianzar su aplicabilidad y visibilidad.

Ilustración 23

Señales reglamentarias



Fuente: Manual de señalización vial. Ministerio de Transporte, 2015.

En el diseño definido para la Intersección la Virgen, se instalaron las señales reglamentarias que se muestran en el plano de señalización anexo.

Señales Informativas (SI)

Orientan a los usuarios sobre información de localidades, ubicación de destinos, sitios especiales, distancias y prestación de servicios. Las señales SI se caracterizan por su forma rectangular (Excepto las señales de ruta SI-01, SI-01A, SI-02 y SI-03 que son escudos de identificación de la ruta con fondo blanco y la señal SI-05 (Poste de referencia)), fondo color verde patrón, para las señales informativas de ruta, color blanco mate para las señales informativas de kilometraje y de información, color azul mate para señales de información de prestación de un servicio, y color café para las señales de información turísticas, con textos,

flechas y símbolos de color blanco, y por último señales de obra con fondo de color naranja, con letra y símbolos color negro.

En el diseño definido del presente trabajo, se proyecta la instalación de señales informativas de destino previo y en el cruzamiento de la intersección que indican la dirección del lugar destino, por lo tanto, su ubicación se proyecta a una distancia en donde el conductor puede prever con tiempo las maniobras a realizar, no obstante, no se instalarán a una distancia inferior a 125 m de la intersección, así como señales informativas de destino confirmativas posterior al paso de la intersección y que indican la distancia en kilómetros que falta para la llegada a un destino localizadas a una distancia mayor a 100 m con el fin de no intervenir en la decisión de los movimientos a elegir. Asimismo, teniendo en cuenta que los mensajes no siempre se entregan por medio de una sola señal, para dar la información, se proyectan esquemas de señalización secuenciales que funcionan en conjunto.

Por último, las señales de kilometraje y de información general se instalan en el punto de referencia, el cual podrá ser ajustada hasta en un 20% según las condiciones del lugar o de factores como geometría de la vía, visibilidad, tránsito, accesos.

Ilustración 24

Señales informativas



Fuente: Manual de señalización vial. Ministerio de Transporte, 2015.

En el diseño de señalización se proyectaron las señales informativas indicadas en el plano de señalización anexo.

Señalización Horizontal

La señalización horizontal se utiliza para indicar los límites geométricos de la intersección y regular y canalizar el tránsito. Esta señalización corresponde a la implementación de marcas viales o demarcaciones como líneas, flechas, letras o símbolos pintados sobre el pavimento, bordillos, sardineles o en estructuras sobre la vía o adyacentes a ella.

Las demarcaciones se clasifican de acuerdo con su forma y altura de la siguiente manera:

Según su forma

- Líneas longitudinales: Utilizadas para delimitar carriles y calzadas, bordes de pavimento, demarcación de bermas pavimentadas, indicar zonas con y sin restricción de adelantamiento de carril, zonas no aptas para estacionamiento o delimitación e zonas exclusivas para algunos tipos de vehículos.
- Líneas transversales: Utilizadas principalmente en intersecciones con el fin de indicar las zonas de cruces de peatones y bicicletas, así como el punto de detenimiento de vehículos.
- Demarcaciones para cruces: Empleadas en intersecciones de vías o cruces que requieren de semaforización y/o señalización vertical y se deba establecer la prioridad entre ellos, mediante demarcaciones complementarias que definan los puntos de cruce.
- Símbolos y leyendas: Utilizadas para orientar y advertir al conductor y regular la circulación del tránsito. Incluyen leyendas como PARE, SOLO BUS, DESPACIO, y símbolos como triángulos de CEDA EL PASO.
- Demarcación de líneas de estacionamiento.
- Demarcación de paraderos.

Las líneas longitudinales y marcas deben ser blancas o amarillas. Las líneas longitudinales blancas se utilizan para separar el tránsito de igual sentido, y las líneas amarillas para sentido contrario. Cuando se requiera dar contraste a las líneas blancas o amarillas podrá emplearse líneas negras adyacentes a ellas y de ancho igual a $\frac{1}{2}$ del ancho de la línea, excepto para marcas viales en donde se implementarán líneas negras que sobresalgan 5 cm.

Según su altura

- Planas: Señales de hasta 6 mm de altura.

- Elevadas: Señales de más de 6 mm y hasta 21 mm de altura para tachas y 150 mm para otros delineadores de piso (ver Figura 5.1), de color amarillo o blanco, empleadas para complementar las demarcaciones caracterizadas según su forma, por lo tanto, al ser elevadas, son de mayor percepción, especialmente al ser iluminadas por los vehículos.

Otros dispositivos

De acuerdo con el diseño de la alternativa definitiva, que corresponde a una intersección a desnivel con retornos y carriles de enlace con el municipio de Aguazul y el Cerro de la Cruz, además de la señalización vertical y demarcación horizontal establecida, se proyectan otros dispositivos de canalización para la regulación del tráfico vehicular como delineadores de curvas, los cuales, tienen efectividad en la circulación nocturna de los vehículos. Los delineadores tienen características, espaciamiento y ubicación determinados en el Manual Colombiano sobre Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles y Carreteras, donde se recomienda un espaciamiento de acuerdo con el radio de la curva.

Ilustración 25

Delineador de curva horizontal simple



En general, para la localización de las señales tanto verticales como de demarcación horizontal se debe prever la distancia entre la señal y la situación de referencia, así como la distancia con relación a la calzada o ubicación lateral, de igual forma, con el fin de lograr la percepción de las señales verticales, es necesario que se ubiquen en su cono de atención, dentro de 10° respecto de su eje visual, evitando instalarlas alejadas de la calzada, demasiado elevadas o muy abajo respecto del nivel de ésta.

Asimismo, el material de los tableros de las señales verticales debe tener las siguientes especificaciones, indicadas en el Manual de Señalización Vial 2015:

- Lámina de acero galvanizada calibre 16”.
- Soporte en ángulo de hierro de 2”x2”x ¼”.
- Lámina reflectiva grado ingeniería y/o grado diamante, especial para Señales de tránsito.
- Pintura base anticorrosiva-Primer.
- Pintura esmalte blanco sintético especial para aplicación sobre metal y resistencia a la intemperie (preferiblemente horneable).
- Tintas o pinturas para aplicación en screen.

Para la demarcación del pavimento se puede utilizar pintura de tráfico (plásticos de dos componentes) de aplicación en frío.

Las demás características específicas de las señales se presentan en el plano de especificaciones y están acordes con el capítulo 8 del Manual de Señalización.

En la siguiente Tabla se presentan las dimensiones reglamentarias de los tableros de las señales verticales según las especificaciones del Manual de Señalización Vial.

Tabla 37

Dimensiones de los tableros de señales verticales

Tipo de Señal	Velocidad máxima permitida menor o igual a 50 km/h.	Velocidad máxima permitida de 80 km/h o 90 km/h
Preventiva	Cuadrado de 60 x 60 cm	Cuadrado de 90 x 90 cm
Reglamentaria	Círculo de 60 cm de diámetro	Círculo de 90 cm de diámetro
Reglamentaria SR-01	Octágono con altura de 60 cm	Octágono con altura de 90 cm

Tipo de Señal	Velocidad máxima permitida menor o igual a 50 km/h.	Velocidad máxima permitida de 80 km/h o 90 km/h
Reglamentaria SR-02	Triángulo equilátero 75 cm de lado	Triángulo equilátero 120 cm de lado
Informativas	Rectángulo: ancho y altura dependen del texto	Rectángulo: ancho y altura dependen del texto
Informativas de identificación	Escudos de 60 cm de altura y 60 cm de ancho	Escudos de 60 cm de altura y 60 cm de ancho
Informativas de destino y de información en ruta	Rectángulo: ancho y altura dependen del texto	Rectángulo: ancho y altura dependen del texto
Informativas turísticas	Cuadrado de 60 cm de lado	Cuadrado de 90 cm de lado

Fuente: Resumen manual de señalización vial 2015.

Conclusiones

- Con la elaboración de los trazados de diseño geométrico en la Intersección Monumento a la Virgen en el Municipio de Aguazul, Casanare, se mejoran las condiciones de movilidad vial para los usuarios que realizan el recorrido por la Ruta Nacional 6512 y se dirigen desde Monterrey hasta Yopal, así como a los habitantes del casco urbano de Aguazul y del corregimiento Cerro de la Cruz, asimismo, se atienden diferentes puntos de conflicto que generan situaciones de congestión, entrecruzamientos y tiempos de retraso.
- Los diseños geométricos, así como el diseño de señalización proyectados se realizan cumpliendo los parámetros y especificaciones establecidos en el Manual de Señalización de Carreteras, INVIAS, 2008, Manual de Señalización Vial, INVIAS, 2015, así como los requerimientos indicados en el Contrato de Concesión No. 010 de 2015 del proyecto Vial 4G Villavicencio – Yopal, que incluye los diseños en fase III y la construcción de la Intersección la Virgen.

- Con la implementación de la alternativa de diseño definitiva se garantiza que, en el periodo de diseño de 25 años, la intersección tendrá la capacidad para el flujo vehicular proyectado en este periodo.
- El diseño de las alternativas proyectadas se integra al proyecto de concesión vial de cuarta generación o 4G Villavicencio – Yopal, con el cual se modernizará la infraestructura vial del corredor vial que conecta los municipios de Aguazul y Yopal, capitales de los departamentos del Meta y Casanare, y se impulsará de manera significativa la economía y el crecimiento productivo del país.
- Con la realización del presente trabajo de profundización se reflejan los conocimientos adquiridos en la Maestría de Ingeniería de Vías Terrestres de la Universidad del Cauca.

Referencias

Agencia Nacional de Infraestructura (2015). CONTRATO DE CONCESION BAJO EL ESQUEMA DE APP No. 010 DE 2015. Colombia.

Agencia Nacional de Infraestructura (2016). Anexo 4.3 el dorado II – Gestión predial. Colombia.

Agencia Nacional de Infraestructura (2019). Guía para la revisión de la gestión predial de un proyecto de infraestructura en la etapa de preconstrucción. Colombia.

Arboleda, G. (2020). Vías Urbanas: Una ciudad para todos.

Baracaldo, G., Diaz, C., Lastra, J. y Patiño, A. (2016). Diseño de una intersección en “T” a desnivel ubicada en la calle 53 B-Bis con avenida NQS en la ciudad de Bogotá.

Bull. A. (2003). Congestión de tránsito el problema y como enfrentarlo.

Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018). Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. 9a edición.

Colombia. Ministerio de Transporte. INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Instituto Nacional de Vías.

Colombia. Ministerio de Transporte. INVIAS. (2015). Manual de Señalización Vial, Dispositivos Uniformes para la Regulación del Tránsito en las Calles, Carreteras y Ciclorutas de Colombia.

Correa, E., Forero, J. y Martínez, P. (2015). Estudio de tránsito y diseño geométrico para la Intersección de la calle 26 con carrera 40, como alternativa de trompeta deprimida con todos los movimientos.

DANE. Sistema Estadístico Nacional. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/>.

García, A., Pérez, A. y Camacho, F. (2012). Introducción al Diseño Geométrico de Carreteras: Concepción y Planteamiento.

Guavita Hernández. C., López Jurado. L. y Garzón Soler. N. (2017). Capacidad en Intersecciones a Desnivel para Zonas Urbanas: Un estado del arte.

Maya, J. y Giraldo, J. (2019). Mejoramiento de la Intersección entre las rutas 45 y 45HLC, en el Municipio de Pitalito (Huila).

Mopt. (1992). *Diseño intersección tesis informe final*.

Nicaragua. Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2008). Manual para la revisión de estudios topográficos.

Página web de population.city. (Recuperado el 15 de junio del 2022)

Página web oficial de la Alcaldía Municipal de Aguazul, Casanare, Documento, Esquema de Ordenamiento Territorial 2011.

Pastran Rojas. A., Girón Rodríguez. J. (2015). Diseño geométrico vial con pasos a desnivel de la intersección autopista sur carrera 63 Bogotá Colombia.

Portal <https://www.ani.gov.co/>

Salatoom, N., Taneerananon. P. (2014). A study of a Flyover-Bridge – Improved Intersection.

Solano, E. (2019a). Intersecciones Viales (2da. Parte). (Archivo PDF)

Solano, E. (2019b). Intersecciones Viales (3ra. Parte). (Archivo PDF)

Solano, E. (2019c). Intersecciones Viales. (Archivo PDF)

Solano, E. (2019d). Procedimientos para Realizar Cálculo de Volúmenes de Tierra. (Archivo PDF)

Solano, E. (2022). Topo3 (Versión 2.03) [Software].

United States of America. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO. (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.

Yang, Z. y Jiang, Y. (2012). Discussion on Downtown Area Overpass Pedestrian System.