



*Sede "Camilo Cienfuegos"*  
*Facultad de Ciencias Técnicas*

## **SOLUCIÓN CONCEPTUAL DEL VIADUCTO HABANA-VARADERO EN EL TRAMO RÍO SAN JUAN-VERSALLES.**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

**Autora: Lianet Quintero Martínez.**

**Tutores: Ing. Homero Morciego Esquivel.**

**Ing. Julio Abel Canito Alfonso.**

*Matanzas, 2019*

## **PENSAMIENTO.**

*“El éxito no se logra solo con cualidades especiales. Es sobre todo un trabajo de constancia, de método y organización.”*

*J.P. Sergent.*



## DEDICATORIA:

*A mi mamá y mi papá.*

## **AGRADECIMIENTOS:**

*A mi mamá por su apoyo incondicional y ser mi ejemplo a seguir por su sabiduría y capacidad de captar mis dudas y ayudarme a resolverlas, mi bastón de vida, preciosa resabiosa, en fin, lo máximo para mí. Te amo mamá, porque enseñar a vivir a alguien no debe ser tarea fácil y menos a una persona cabezona, dormilona e histérica como yo.*

*A mi papá guerrero incansable contra las malas ideas y decisiones presentadas a lo largo de mi camino, por su entrega en alma y corazón a la formación del profesional que seré, porque cada enseñanza quedará en mí por siempre por ser ejemplo de padre y amigo.*

*A mi Flor, porque lo que le falta de tamaño lo tiene de corazón, porque me ha apoyado y ayudado en todo lo que me ha hecho falta de seguro sin esperar nada a cambio en esta contienda, larga, por cierto.*

*A Chungo que se ha sentido mi ausencia por mis largas horas de dedicación al estudio, por todo el tiempo que llevamos llenos de alegrías y de disgustos, por quererme y apoyarme, por ser ese compañero de risas y lágrimas, gracias porque de alguna manera me proporcionas tranquilidad y estabilidad al estar a mi lado ni cuando yo misma me soporto.*

*A mi abuelita Norma, que debe estar muy orgullosa de mí, seguramente en un lugar que huele a jazmín. A mi abuelito René que siempre se ha llenado la boca de alegría por mis logros. A mi tío Chino por esa alegría que transmite cada vez que lo veo, por él, ¡Qué viva la independencia de Paraguay!*

*A mi tía Abrorita por quererme tanto y demostrármelo a través de palabras, de abrazos, de besos. A la Bruja del 29 A, porque en todas las noches había un “pa allá y pa acá” además un hueco para contarnos cómo fue el día, a mi madrina Cari por siempre ser parte de mi vida.*

*A Laura porque para cada prueba vaciaba los tanques por tal de que saliera bien y por darme buenos consejos. A Darlinis porque cuando no tenía de donde sacar me proporcionó momentos llenos de felicidad, en fin, una mezcla de malos tiempos, pero con buenos recuerdos a nuestro favor.*

*A mis tutores Homero por el tiempo empleado y Julio A. por su entrega a la causa.*

*A Orlando por su interés para que todo saliera bien.*

*A Betto por ser mi amiga de toda la vida, por estar siempre pendiente de mí, ayudarme y poder encontrar en ella a la persona encargada de guardar mis más profundos secretos.*

*A Wendy, Anni y Rey (el flaco), porque aparte de conocernos solo hace 5 años, la amistad desarrollada entre nosotros dada por las dificultades y las necesidades hizo buenos recuerdos, buenos lazos, eternamente agradecida porque para mí influyeron mucho en el perfeccionamiento de mi sistema de estudio, a todas gracias por los sacrificios y el tiempo invertido en mí.*

*A Arianna y Jorgito Molina por aguantar cada uno de mis momentos de arrebatos especialmente cuando tenía hambre o la menstruación.*

*A Mercy y Mercita por todo su apoyo e interés porque fuera universitaria.*

*A mis compañeros de aula.*

*Agradezco a todos lo que de una manera u otra contribuyeron con la realización de ésta mi obra académica.*

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Yo, Lianet Quintero Martínez, declaro que soy la única autora de este trabajo de diploma y, en tal calidad, autorizo a la Universidad de Matanzas a emplearlo como material de consulta.

Y para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

## RESUMEN

La investigación titulada: “Solución Conceptual del Viaducto Habana-Varadero en el tramo río San Juan-Versalles”, tiene como propósito principal proponer en la fase de Solución Conceptual un viaducto que enlace el tramo río San Juan hasta Versalles para completar el viaducto Habana-Varadero. De esta manera se completa el anillo periférico interior de la ciudad de Matanzas, lo que permite minimizar los tiempos de recorrido del tráfico de paso y evitar su interferencia con el tráfico local, lográndose la seguridad y el confort en la circulación, para mejorar los atributos como la accesibilidad, la conectividad y la movilidad. Entre los métodos científicos empleados están la inducción-deducción, inferencia de datos, observación directa, análisis-síntesis e histórico-lógico. También se utilizan procedimientos de cálculos de normas nacionales, basadas en normativas internacionales como el Policy on Geometric Design of Highways and Streets de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Highway Capacity Manual (HCM), apoyados en herramientas informáticas como AutoCad, Microsoft Office Excel y EndNote X7, que permiten agilizar el procesamiento y corrección de datos. Dentro de los resultados obtenidos en la investigación se encuentran la concepción de un vial, la determinación de sus principales características geométricas y la contribución al Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) para la ciudad de Matanzas.

**Palabras claves:** Planeamiento vial; anillo periférico; viaducto; solución conceptual; movilidad; conectividad; planes de ordenamiento territorial y urbano.

## **ABSTRACT**

The research entitled: “Havana-Varadero Viaduct’s conceptual solution in the stretch of San Juan River to Versailles” has as main purpose to propose in the stage of conceptual solution a viaduct that links the stretch of San Juan River to Versailles in order to finish Havana-Varadero Viaduct. This way the interior beltway of Matanzas city is completed allowing to minimize the time the vehicles cross the city and avoiding their interference in the local traffic. This contributes to achieve the security and comfort of the traffic to improve attributes such as: accessibility, connectivity and mobility. Among the scientific methods put into practice are: the induction-deduction, inference of data, direct observation, analysis- synthesis and historical- logical. Procedures of calculations of Cuban norms, based on international regulations as The Policy on Geometric Design of Highways and Streets of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) and The Highway Capacity Manual (HCM), supported by computer tools such as: AutoCad, Microsoft Office Excel and EndNote X7 that allows to speed up the data processing and correction are used. As part of the results obtained in the research can be found the conception of a road, the setting of its main geometrical characteristics and the contribution to the General Plan of Territorial and Urban Organization (GPTUO) for the city of Matanzas.

Keywords: Road planning, beltway, viaduct, conceptual solution, mobility, connectivity, plans of territorial and urban organization

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA DEL PREDISEÑO DE SOLUCIONES VIALES EN CIUDADES A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.</b> .....	<b>9</b>
1.1- Planeamiento vial. Términos y definiciones. ....	9
1.1.1- Sistema de vías.....	10
1.1.1.1- Clasificación funcional.....	11
1.1.1.2- Parámetros que caracterizan las vías.....	13
1.1.2- El sistema vial de las ciudades y su entorno. ....	14
1.1.2.1- Planes de ordenamiento territorial y urbano. ....	15
1.1.2.1.1- Período de diseño.....	15
1.1.2.1.2- Patrón de expansión y crecimiento de las ciudades.....	17
1.1.2.2- Atributos de las ciudades y su entorno.....	17
1.1.2.2.1- Accesibilidad. ....	18
1.1.2.2.2- Movilidad.....	19
1.1.2.2.3- Conectividad.....	20
1.1.3- Soluciones dirigidas a la mejora de los atributos de las ciudades y su entorno. 21	
1.1.3.1- Intersecciones viales.....	22
1.1.3.1.1- Intersecciones a nivel.....	23
1.1.3.1.2- Intersecciones a desnivel. ....	23
1.1.3.1.3- Empleo de viaductos en anillos periféricos. ....	25
1.2- Justificación del empleo de viaductos en anillos periféricos. ....	27
1.3- Corrientes vehiculares que transitan por la red urbana. ....	29
1.3.1- Tiempo de recorrido.....	30
1.3.2- Longitud de recorrido. ....	30
1.4- Normativas sobre vialidades de ciudades y su diseño.....	31
1.4.1- Normativas nacionales. ....	31
1.4.2- Normativas internacionales.....	32
1.5- Solución Conceptual como interfase de la documentación técnica del proyecto. 33	
Conclusiones parciales del capítulo:.....	34
<b>CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.</b> .....	<b>35</b>
2.1- Análisis del sistema vial de la ciudad de Matanzas y su entorno. ....	35
2.2- Ejecución del reconocimiento de la faja de emplazamiento.....	36
2.2.1- Características geométricas, de circulación y tipológicas de la faja de emplazamiento a tener en cuenta durante la ejecución del reconocimiento. ....	36
2.3- Análisis de la demanda actual y futura del tráfico.....	37
2.3.1- Promedio Anual del Volumen Diario de Tránsito (PAVDT) para un año “n”. .....	37
2.3.2- Tránsito futuro. Factor de proyección del tránsito. ....	39
2.4- Categoría técnica de la vía, capacidad, volumen y nivel de servicio. ....	39
2.4.1- Categoría técnica de la vía.....	39
2.4.2- Capacidad, volumen y nivel de servicio de la vía. ....	40

2.5- Requisitos del diseño.....	42
2.5.1- Tipo de terreno.....	43
2.5.2- Velocidad de diseño.....	43
2.5.3- Sección transversal típica. ....	44
2.5.3.1- Ancho de los carriles. ....	44
2.5.3.2- Bombeo del pavimento.....	47
2.5.3.3- Paseos y bermas.....	47
2.5.3.4- Ancho del separador central o mediana.....	49
2.5.4- Trazado en planta.....	49
2.5.5- Trazado en perfil.....	50
2.6- Análisis de las alternativas de las soluciones viales del tramo que se estudia. ....	51
Conclusiones parciales del capítulo.....	52
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
3.1- Sistema vial de la ciudad de Matanzas y su entorno. ....	53
3.2- Resultados del reconocimiento de la faja de emplazamiento. ....	56
3.2.1- Evaluación funcional actual de las vías que influyen en la solución.....	60
3.3- Análisis de la demanda actual y futura del tráfico.....	61
3.4- Categoría técnica de la vía. ....	66
3.5- Determinación de los requisitos del diseño. ....	67
3.5.1- Determinación de la capacidad y nivel de servicio, para analizar los resultados obtenidos. ....	69
3.6- Análisis y propuesta de las alternativas para la solución del vial en la faja de emplazamiento. ....	71
3.6.1- Análisis de las propuestas existentes.....	71
3.6.2- Esquemas generales de las soluciones para el trazado del vial. ....	74
3.6.3- Análisis de las alternativas de solución para el trazado del Viaducto Habana-Varadero en el tramo río San Juan-Versalles.....	76
3.6.4- Resultados del análisis de las variantes para el trazado del viaducto Habana-Varadero en el tramo río San Juan-Versalles.....	79
Conclusiones.....	82
Recomendaciones.....	83
Referencias Bibliográficas.....	84
Anexos:.....	89

## INTRODUCCIÓN

Las ciudades experimentan una expansión urbana relativamente concéntrica en la medida en que la población busca mantener una proximidad con el centro, que es en donde se aglutinan las principales actividades y servicios de la localidad, pero el aumento demográfico y desarrollo de diferentes sectores de la sociedad han tenido como efecto inmediato un intenso proceso de urbanización hacia las periferias (Jan Bazant, 2008), detectándose mediante un conjunto de patrones analizando la ciudad como un todo.

Dicha expansión ha favorecido un proceso de dispersión urbana expresado en el desarrollo de nuevas y diversas actividades económicas, así como el desarrollo de las infraestructuras urbanas y del transporte (Ávila Sánchez, 2009). Como resultado las ciudades empiezan a ser receptoras de un elevado influjo demográfico que ya no puede ser absorbido alrededor de sus centros, entonces la expansión urbana empieza a desbordarse hacia las periferias (Jan Bazant, 2008), generándose policentros de ciudad que demandan conectividad entre ellos y accesos hacia los centros tradicionales.

La inclusión de los policentros a la ciudad se da inicialmente por las carreteras que unen funcionalmente el centro con el resto de los policentros. Por estas vías circula la población que habita en las áreas circunvecinas que se traslada a diario al centro urbano, lo que las convierte en corredores urbanos, ya que con el tiempo se empiezan a ubicar sobre ellas equipamientos, comercios y servicios que buscan satisfacer la demanda de la nueva población. A los corredores urbanos se les insertan nuevas vías de acceso o vías periféricas. Durante este proceso de expansión hacia la periferia los centros históricos empiezan a decaer y a despoblarse (Jan Bazant, 2008), por lo que se prioriza la conectividad entre los policentros y no tanto la accesibilidad al centro.

Para lograr un territorio sostenible en áreas de las periferias, se construyen vías periféricas para hacer frente a la dispersión de uso de los recursos y la eficiencia del sistema de transporte. La cuestión más relevante a resolver es disminuir la distancia de los viajes y segregar el tráfico de paso del generado por la actividad local (Noguéz Linares; Salas Olmedo, 2008).

Varias expresiones de vías periféricas son anillos circunvalantes y viaductos. Los viaductos forman parte de la infraestructura lineal de transporte y sus exigencias funcionales dependen del territorio donde se emplazará. Utilizando estos se pueden realizar nuevos trazados funcionales, para mejorar las velocidades y los tiempos de viaje en la ciudad. Con limitaciones, se puede adaptar a las diferentes formas geográficas, adecuándolos dinámicamente con el paisaje (Nárdiz, 2008).

La ciudad de Matanzas (Canito Alfonso, 2018) está emplazada en forma de anillos del centro hacia la periferia bordeando la bahía, con un sistema vial incompatible con las necesidades de movilidad intraurbana por la no continuidad de los ramales de acceso y completamiento de los ejes conectores principales. Posee una circunvalación que pasa a desnivel sobre la línea del ferrocarril central el cual se intercepta con la carretera de Cidra y con la Carretera Central por donde pasan mayormente los tráficos de paso y vehículos pesados, es además el enlace de la ciudad con la zona La Meseta, no continúa hacia Vía Blanca, por lo que no existe desde la Zona Industrial Portuaria una vía expresa que circulen los vehículos pesados, que no atraviese el centro de la ciudad.

La Zona Industrial Portuaria se vincula a través del único puente, La Concordia, que une esta zona con Matanzas y en dirección a La Habana. Esta situación siempre se ha considerado como una deficiencia del sistema vial de ciudad, porque existen limitaciones de circulación y trae serios problemas de congestión en la vía. Es importante para la ciudad y el país completar los ejes principales de circulación porque el flujo vehicular de paso Habana-Varadero afecta notablemente zonas residenciales en la zona de Matanzas, Versalles y Playa, que se incrementará por el previsto desarrollo portuario al ser de gran calado la bahía.

Estudios precedentes (Batista Hernández, 2010; Piad Aldazábal, 2011; Arencibia Fundora, 2016; Rodríguez Rodríguez, 2016; González García, 2017; Canito Alfonso, 2018) plantean la necesidad de una ruta directa alrededor de la ciudad que permita el movimiento ininterrumpido de los flujos vehiculares y favorezca la seguridad, el confort y la reducción de los tiempos operacionales. Además, puede constituir una solución factible para el desarrollo de la región a corto y mediano plazo.

**Situación problemática:**

La necesidad de conectar el tramo existente de viaducto Habana-Varadero, desde el río San Juan hasta Versalles.

**Problema Científico:**

¿Cómo contribuir a la reducción de los tiempos de recorrido del tráfico de paso por la ciudad de Matanzas, y la disminución de las interferencias con el tráfico local?

**Objeto de investigación:**

Proyecto de planeamiento de la red vial urbana.

**Campo de acción:**

Solución Conceptual del completamiento del viaducto Habana-Varadero en la zona Río San Juan-Versalles.

**Hipótesis:**

Si se prediseña en etapa de Solución Conceptual, el completamiento al Viaducto Habana-Varadero en el tramo Río San Juan- Versalles, se sentarán las bases para el desarrollo del proyecto en las consiguientes fases del proceso inversionista.

**Operacionalización de las variables relevantes.**

**Variable independiente:**

Solución Conceptual del Viaducto Habana-Varadero en el tramo Río San Juan-Versalles.

**Variable dependiente:**

Bases para el desarrollo del proyecto de completamiento del viaducto Habana-Varadero en el tramo Río San Juan-Versalles en las consiguientes fases del proceso inversionista.

**Objetivo general:**

Proponer en la fase de Solución Conceptual un viaducto que enlace el tramo Río San Juan-Versalles para completar el viaducto Habana-Varadero.

### **Objetivos específicos:**

Analizar el estado del arte y la práctica del diseño de vías urbanas del sistema primario, los viaductos a nivel nacional e internacional y los anillos circunvalantes concebidos en los planes de ordenamiento territorial urbano que rigen el funcionamiento de la red vial de ciudades y su entorno.

Caracterizar el proceso de prediseño en la etapa de Solución Conceptual de trazados de viaductos.

Proponer en la fase de Solución Conceptual un viaducto que enlace el tramo río San Juan-Versalles para completar el viaducto Habana-Varadero.

### **Tareas principales de la investigación:**

- Análisis del estado del arte y la práctica relacionada con la construcción de viaductos y de otras soluciones estructurales para vías periféricas tanto a nivel internacional como nacional.

Mediante la conceptualización de referentes teóricos afines al tema de la investigación, se realizó una panorámica del estado del arte y la práctica actual del objeto de estudio, sus antecedentes y la evolución en locaciones similares a la del caso de estudio.

- Diseño de un procedimiento para la conceptualización del viaducto en el tramo Río San Juan-Versalles.

Se realizan una serie de estudios: aforos mediante el empleo de la Ingeniería de Tránsito, en particular los relacionados con los flujos vehiculares que proceden de Versalles hacia Matanzas y viceversa lo que permite obtener la demanda actual y futura, caracterización litológica y orográfica, para procesar correctamente la información y proceder a la conceptualización racional del viaducto. Al describirse los componentes del procedimiento se conciben las bases metodológicas para su posterior aplicación.

- Aplicación del procedimiento para proponer variantes de soluciones conceptuales del viaducto en el tramo Río San Juan-Versalles.

Se aplica el procedimiento al caso de estudio, de acuerdo a las fases, etapas y pasos definidos durante su concepción. Como resultado, se obtiene un diagnóstico integral del estado actual de la infraestructura, se crean las bases para su planificación a corto, mediano y largo plazo, y se selecciona la variante más eficaz.

### **Métodos Científicos:**

Como parte de los **métodos teóricos** el **análisis-síntesis** se empleó para establecer puntos de concatenación entre la presente indagación y materiales anteriores en cuanto a enfoque, visión y perspectiva. Al localizar la información en las diferentes fuentes bibliográficas, se realizó el fichaje para su posterior procesamiento, el cual consistió en una lectura exhaustiva con el fin de describir los elementos relacionados en la búsqueda y establecer conexiones entre los mismos que posibilitaron el logro de los objetivos y el cumplimiento de las tareas de investigación.

La utilización del método **histórico – lógico** permitió la caracterización del objeto de estudio, y como resultado de la revisión bibliográfica, se elaboró una reseña de los antecedentes de la resolución de conflictos en las ciudades, mediante el empleo de vías periféricas mediante soluciones estructurales de anillos periféricos, viaductos y otras, tanto en el ámbito nacional como internacional. Este método se empleó además al realizar un análisis comparativo entre las normativas que regulan el alcance de la documentación técnica de los proyectos de ingeniería según la etapa en que se encuentra, lo que permitió establecer una trayectoria real de sucesos en el proceso de diseño y ejecución del mismo, así como reconocer las leyes generales para su óptimo funcionamiento y desarrollo.

La **inducción – deducción** conllevó a tomar como referente los resultados de investigaciones basadas en el procesamiento de datos provenientes de aforos vehiculares realizados por las autoridades administrativas y organismos rectores especializados en evaluar y caracterizar el comportamiento del tráfico, se indujo la variación de parámetros inherentes a las corrientes vehiculares, utilizando un procesamiento matemático y probabilístico que permitió identificar patrones de variaciones a corto y mediano plazo, y referir el impacto de tales fluctuaciones en el funcionamiento de los sistemas de transporte a nivel regional y nacional.

La **inferencia de datos**: partiendo de informes oficiales, emitidos por autoridades de la ciudad de Matanzas, se infirieron valores representativos que permitieron la construcción de escenarios bajo las pautas previstas a corto, mediano y largo plazo, teniendo en cuenta el incremento del turismo de ciudad, de la población residente y flotante, así como el aumento de viajes al centro por diferentes motivos, también se infirieron valores representativos para los marcadores del desarrollo nacional, en vistas a ser empleados en el análisis matemático mediante métodos numéricos que se llevaron a cabo una vez definido el valor de mayor impacto en la zona, siendo ajustado para su posterior empleo en el análisis inductivo-deductivo a realizar a los patrones de las corrientes vehiculares.

Como **método empírico** se utilizó la **observación directa** en la ejecución de proyectos de carreteras, así como el reconocimiento en el terreno de obras construidas, favoreció a una visión más real de los parámetros geométricos que caracterizan a las carreteras. Se exploraron las condiciones geográficas de la zona de emplazamiento, lo que permitió evaluar el impacto que ha de provocar en el entorno y lograr una mejor concepción de diseño geométrico y estético de la solución vial, se empleó para observar el comportamiento de los flujos vehiculares que provienen de Matanzas hacia Versalles y viceversa, a partir de los modelos de campo con la información indispensable. Los observadores entrenados fueron estudiantes pertenecientes al Grupo Científico Estudiantil “Ingeniería ConCIENCIA”.

La investigación posee valor **económico** pues la ejecución de un viaducto como solución estructural a una vía periférica busca disminuir o eliminar la brecha entre la infraestructura actual y la que necesariamente debe existir para el desarrollo eficaz de la sociedad en general. De ahí que, desde lo **social** tendrá impacto, por cuanto los flujos vehiculares de paso no se verán obligados a entrar a la ciudad y podrán disfrutar de una infraestructura vial sostenible y segura, que les brinde la comodidad necesaria para que el tránsito desde el origen hacia el destino se realice de una forma continua y agradable, evitando las paradas impuestas por dispositivos de control del tráfico y eliminando los tiempos de demora por tales conceptos.

Desde el punto de vista **práctico**, según el alcance de la etapa de Solución Conceptual dentro del ciclo de vida del proyecto, se aportan valores reales, adecuados a las normativas actuales para el diseño de viaductos, predimensionando los elementos conformantes de respectivos modelos. De esta forma, quedan sentadas las bases para el futuro desarrollo de un diseño más detallado, que tome como antecedente la presente investigación.

El valor **metodológico** de la presente investigación se pone de manifiesto al realizarse la adecuación de las metodologías de cálculo y diseño a las condiciones de la región en que se encuentra ubicado el vial propuesto, se entregará a las empresas de proyectos de la provincia una herramienta útil e indispensable a tales efectos, por la actualidad de las regulaciones acatadas y aforos que caracterizan la corriente vehicular actual y futura.

La investigación posee valor **urbanístico** al constituir un aporte al Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) de la Dirección Provincial de Planificación Física DPPF, a la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas (EMPAI), en la cual solo se tiene una solución estructural de tipo viaducto, pero sin contemplar aforos vehiculares actuales y su proyección hacia el futuro, así como la valoración de otros posibles accesos.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente forma:

Resumen / Abstract

Índice

Introducción

En ella se define la situación problemática y se formula el protocolo de la investigación, en el cual se precisan el problema científico, objetivo general, objetivos específicos y la hipótesis, así como los métodos utilizados en la investigación.

**Capítulo I:** Estado del arte y la práctica del diseño de soluciones viales en ciudades a nivel nacional e internacional.

Mediante la conceptualización de la terminología referente al tema de la investigación, se realiza una panorámica del estado del arte actual del objeto de estudio, sus antecedentes y las ventajas de su uso para segregarse el flujo vehicular, así como la justificación del empleo de este tipo de solución vial y las perspectivas del plan de ordenamiento territorial.

## **Capítulo II:** Materiales y métodos.

Se explica la influencia sobre el caso en cuestión de los estudios de Ingeniería de Tránsito. A partir de la predicción de los valores de tráfico de las corrientes vehiculares en el período de diseño, se establece un procedimiento para determinar la capacidad y los niveles de servicios de la infraestructura vial existente. Este permitió conocer el Promedio Anual de Volumen Diario de Tráfico (PAIDT) en autos directos equivalentes, que puede ser despejado por la selección de la variante más eficaz, la caracterización del proceso de diseño de carreteras y la determinación de sus requisitos de diseño.

## **Capítulo III:** Análisis de los resultados.

Se explica el proceso de predimensionamiento de los elementos que conforman el viaducto de la solución valorada como la más eficaz, según el alcance y precisión de la etapa de proyecto en la que se encuentra (ideas conceptuales) mediante el empleo de las normativas vigentes a nivel nacional y mundial para cada caso, tanto del punto de vista estructural, estético y de los componentes de drenaje y otros factores que intervienen en el funcionamiento óptimo del vial, para que sea cómodo y durable.

### Conclusiones

A partir de la situación problemática, luego de haberse aplicado los métodos de investigación y obtenidos los resultados, se llega a conclusiones en función de los objetivos específicos formulados.

### Recomendaciones

### Bibliografía

### Anexos

# **CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA DEL PREDISEÑO DE SOLUCIONES VIALES EN CIUDADES A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.**

En el presente capítulo se realiza un análisis de la bibliografía científica y especializada vinculada al tema de investigación, para sentar las bases conceptuales que sirvan de sustento para las consiguientes fases de concepción de la Solución Conceptual del Viaducto de Matanzas en el tramo Río San Juan-Versalles.

## **1.1- Planeamiento vial. Términos y definiciones.**

El planeamiento vial se define como un proyecto que estudia demandas presentes y futuras de movilidad de personas y diferentes medios de transporte. Es la fase fundamental del proceso de desarrollo y organización del transporte, porque es la que permite conocer los problemas, diseñar o crear soluciones, de manera que se pueda optimizar y organizar los recursos para enfocarlos a atender la demanda de movilidad (Loría Salazar, 2011).

Según (DPPF, 2011) el planeamiento es una serie de medidas para prever y organizar acciones con carácter anticipado y ordenado en función de un objetivo específico. La manera de ejecutar el planeamiento vial en un país no se define repentinamente, siempre hay fuerzas impulsoras que ejercen un control, sobre los diversos proyectos que se generan en torno al desarrollo de la infraestructura vial (Loría Salazar, 2011; Canito Alfonso, 2018).

La acción de planear también se lleva a cabo con la confección acreditada de los planes de desarrollo de los distintos organismos y de toda la economía de un país para cierto período de tiempo, ejemplo los Planes Generales de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU). Este constituye el instrumento rector de la actividad gubernamental del municipio y la ciudad, conformado por un conjunto de disposiciones que regulan la transformación del territorio y la programación de las acciones para su implementación, como resultado del análisis de la situación actual, en un Diagnóstico Integrado del Territorio (DPPF, 2011).

El objetivo del planeamiento vial es limitar el impacto negativo del tráfico sobre la seguridad, los espacios públicos y el medio ambiente (Weskott, 2015), garantizar el correcto funcionamiento de la circulación, mediante la coexistencia pacífica de los diferentes modos de transporte, reducir los accidentes de tránsito con medidas técnicas adaptadas al contexto.

Partiendo de lo anterior la autora define que el planeamiento vial es un proyecto que se lleva a cabo por autoridades competentes de manera anticipada y ordenada en función de las demandas presentes y futuras de movilidad, accesibilidad y conectividad de los que habitan la zona, para organizar los recursos, optimizarlos, adecuarlos a los intereses económicos, políticos y sociales del territorio, realizar un uso adecuado de los suelos y diseñar con tiempo estructuras ecológicas, todo lo anterior para el desarrollo de la infraestructura vial.

#### **1.1.1- Sistema de vías.**

Una vía es un tipo de estructura diseñada con el fin de permitir la circulación de los peatones y los vehículos de un lugar a otro. La importancia va a variar de acuerdo a la actividad a la cual estará sometida. Cuando se encuentra una afluencia de una o más vías en el mismo punto estas se cruzan formando un nudo (García García & Herrera Restrepo, 2018).

Los sistemas viales tienen como función agilizar los flujos vehiculares y garantizar las interconexiones entre los sectores estratégicos de una ciudad, por lo que los sistemas viales tienen que responder a las necesidades de la ciudad. Un sistema de vías es un conjunto o distribución organizada de la infraestructura vial que interactúa de forma directa e indirecta con un área, zona o territorio permitiendo movimientos de carga y pasaje, garantizando la accesibilidad, movilidad y conectividad (Canito Alfonso, 2018).

Considerando los conceptos anteriores la autora define como sistema de vías un conjunto de estructuras necesarias, solicitadas después del planeamiento vial, para agilizar los flujos vehiculares y garantizar interconexiones de manera organizada facilitando la

accesibilidad, movilidad y conectividad entre el centro y las periferias y evitar además los flujos interrumpidos por el tráfico de las actividades locales y el de paso.

#### **1.1.1.1- Clasificación funcional.**

La clasificación funcional de las vías se va a derivar del planeamiento vial porque en función de las necesidades actuales y las que se programen para un período determinado en el futuro, se agrupan las carreteras y calles en clases o sistemas, de acuerdo a la capacidad y niveles de servicio de diseño.

A nivel nacional según (Oficina Nacional de Normalización, 1987, Oficina Nacional de Normalización, 2010a) las vías rurales y las vías urbanas se clasifican en: Vías expresas, Arterias principales, Arterias menores, Colectoras, Locales.

En esta clasificación la diferencia existente es en sus características geométricas y requisitos de diseño.

Vía urbana: es aquella vía que se encuentra dentro del perímetro urbano, se caracteriza por tener un tránsito o flujo de vehículos interrumpido, pudiendo existir tramos con flujo ininterrumpido.

Vía rural: carreteras y caminos para fines de tránsito de vehículos y peatones, incluyen el área dentro de la faja de emplazamiento, se encuentran por lo general, fuera de los perímetros urbanos.

A nivel internacional el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de la República (Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia, 2008) clasifica las vías según su funcionalidad en:

- Primarias: son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países.
- Secundarias: son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera primaria.

- Terciarias: son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Según (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2010) en el libro básico de la asignatura Ingeniería de Tránsito, establece la siguiente clasificación funcional:

- Autopistas y vías rápidas: son las que facilitan el movimiento expedito de grandes volúmenes de tránsito entre áreas a través o alrededor de la ciudad o área urbana. Son divididas, con control total de sus accesos y sin comunicación directa con las propiedades colindantes. Una autopista tiene separación total de los flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel, pero puede ser la etapa anterior de una autopista.
- Calles principales: son las que permiten el movimiento del tránsito entre áreas o partes de la ciudad. Dan servicio directo a los generadores principales de tránsito, y se conectan con el sistema de autopistas y vías rápidas. Con frecuencia son divididas y pueden tener control parcial de sus accesos. Las calles principales se combinan entre sí para formar un sistema que distribuye el tránsito en toda la ciudad, en todas direcciones.
- Calles colectoras: son las que conectan las calles principales con las calles locales, proporcionando a su vez acceso a las propiedades colindantes.
- Calles locales: proporcionan acceso directo a las propiedades, sean estas residenciales, comerciales, industriales o de algún otro uso; además de facilitar el tránsito local. Se conectan directamente con las calles colectoras y/o con las calles principales.

La clasificación funcional contribuye a la solución de muchos problemas (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2010): la determinación de la importancia relativa de las distintas carreteras y calles, el establecimiento de las bases para la asignación de niveles de servicio o especificaciones de proyecto, la evaluación de deficiencias, comparando la geometría actual o los niveles de servicio con las especificaciones, la determinación de las necesidades resultantes, la estimación de los costos de las mejoras.

Por lo que es posible establecer según (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2010) sistemas integrados de una manera lógica, agrupando todas las carreteras y calles que deben estar bajo una misma jurisdicción debido al tipo de servicio que ofrecen, asignar responsabilidades para cada clase de camino a nivel gubernamental, relacionar las especificaciones geométricas del proyecto con cada tipo de carretera o calle, entre otras.

Como anteriormente se define las clasificaciones funcionales poseen gran importancia en el proceso de diseño por ejemplo para determinar los parámetros básicos que definirán al vial dirigido directamente con el servicio que prestará.

#### **1.1.1.2- Parámetros que caracterizan las vías.**

(Agudelo Ospina, 2002) explica que los parámetros que caracterizan las vías son: topografía, estudio de tránsito, aspectos hidrológicos e hidráulicos, planos en planta y perfil, además secciones transversales.

(Agosta & Papazian, 2006) plantean que los parámetros que caracterizan las vías son la sección transversal de la vía, las curvas horizontales y verticales, los peraltes, desagües y drenajes.

Según (AASHTO, 2011) en el Policy on Geometric Design of Highways and Streets los parámetros de diseño que caracterizan las vías son la distancia de visibilidad, la súper elevación, su sección transversal, la alineación horizontal y vertical.

(Canito Alfonso, 2018) asume que los parámetros que caracterizan la vía están en correspondencia con su clasificación en dependencia de su funcionalidad, tanto urbanos como rurales, porque cambian en correspondencia con su tipología y son: tipo de terreno, velocidad de diseño, sección transversal típica, trazado en planta, trazado de perfil.

En correspondencia con el criterio de los autores anteriores la autora define como parámetros que caracterizan la vía los siguientes, y estos darán lugar a su clasificación funcional:

- Topografía o tipo de terreno.
- Estudios de tránsito.
- Sección transversal típica.
- Gálibo vertical.
- Trazado en planta y perfil.
- Velocidad de diseño.

### **1.1.2- El sistema vial de las ciudades y su entorno.**

El correcto funcionamiento de las ciudades depende en gran medida de su ordenamiento, dentro de este, el planeamiento vial juega un papel importante (Canito Alfonso, 2018).

Cualquier territorio, de la escala que sea, experimenta problemas y conflictos asociados a la conectividad, la movilidad y accesibilidad dado que en él se asienta una determinada población y se desarrollan diversas actividades. Paliar en lo posible los conflictos entre usos, lograr un desarrollo socioeconómico equilibrado, proteger el medio y preservar sus recursos, y mejorar la calidad de vida son objetivos que sólo pueden lograrse, eficaz y racionalmente, a través de la planificación territorial. (Rodríguez Mateo,s.f.).

Los organismos que controlan el uso del terreno tienen como herramienta los planes de ordenamiento como elemento rector de la actividad administrativa de las ciudades. Estos planes contienen una serie de parámetros que disciplinan la utilización y transformación de los suelos y un cronograma con las acciones para llevarlos a cabo. De forma general los planes de ordenamiento tienen la función de regular inversiones del sector estatal, privado y del cooperativismo con un carácter sistémico, teniendo en cuenta los planes futuros de desarrollo de las ciudades.

Generalmente la infraestructura vial de las ciudades puede estar limitada por accidentes geográficos, lo que obliga a condiciones extremas del diseño geométrico y limitadas condiciones de conectividad con los puntos de interés. Resolver estos inconvenientes implica asumir soluciones incómodas como calles colectoras cortas y puntos obligados de confluencia del tránsito, por lo que se hace necesario el emplazamiento de vías periféricas que apacigüen las malas condiciones (Piad Aldazábal, 2011; Canito Alfonso, 2018).

### **1.1.2.1- Planes de ordenamiento territorial y urbano.**

El ordenamiento territorial no es más que un instrumento en grado de impulsar las inversiones públicas, promover las privadas y apoyar las sociales destinadas a mejorar las ciudades y otros asentamientos humanos, para permitir que la población de ciertas zonas (rural) tengan acceso a servicios básicos, vivienda y empleo y que la población de otras zonas (urbana) pueda lograr el mejoramiento de la calidad de vida, equidad y productividad de la ciudad. Será prioritario prestar debida consideración al medio ambiente en los asentamientos y sus alrededores, con el fin de resolver los problemas actuales y prevenir los que puedan surgir en el futuro (Montes Lira, 2001).

Según el mismo autor, el ordenamiento urbano es la forma particular de denominar a la planificación física, de tipo normativo, que tiene por ámbito de actuación el territorio urbano. Es por ello, algo diferente a la planificación territorial, aunque también tiene conexiones con ella, en tanto ambas son planificaciones físicas y de tipo territorial, cuya forma de aproximación al territorio es horizontal o integradora y general que tiene en cuenta elementos como: la ciudad como parte integrante del territorio (ordenamiento de todo el territorio municipal, articulación ciudad-territorio), la delimitación de los espacios públicos y privados, el esquema ordenador (patrón de ordenamiento del espacio urbano), la red de espacios públicos (“Imagen urbana” de los espacios públicos), las actividades públicas y privadas en los espacios parcelados (zonificación para la distribución de usos).

Por lo que se puede afirmar que las ciudades son objetos de análisis e intervención, de diagnóstico y propuesta además de planeamiento y gestión. Por lo que de manera organizada se integran en planes de ordenamiento para que con tiempo se puedan corregir las deficiencias dadas por el desarrollo de las ciudades e incorporar nuevas ideas enfocándose en el futuro.

#### **1.1.2.1.1- Período de diseño.**

El período de diseño es el tiempo para el cual se estima que un sistema va a funcionar satisfactoriamente, el establecimiento del período de diseño o año horizonte del proyecto

se puede establecer para cada par de componentes del proyecto y depende de los siguientes factores:

- La vida útil de las estructuras o equipamientos teniéndose en cuenta su obsolescencia o desgaste.
- La facilidad o dificultad de la ampliación de las obras existentes.
- Las tendencias de crecimiento de la población futura con mayor énfasis, en el del posible desarrollo de sus necesidades comerciales e industriales.
- El comportamiento de las obras durante los primeros años, o sea, cuando los caudales iniciales son inferiores a los caudales de diseño.

El período de diseño es, por definición, el tiempo que transcurre desde la iniciación del servicio del sistema, hasta que, por falta de capacidad o desuso, sobrepasan las condiciones establecidas en el proyecto (2011).

Es difícil definir la vida de una carretera porque los segmentos principales pueden tener diferentes longitudes y vida física. Cada segmento está sujeto a variaciones en la estimada expectativa de vida debido a influencias no fácilmente sujetas al análisis, tal como la obsolescencia, inesperados cambios radicales en el uso de la tierra, y resultantes cambios en los volúmenes de tránsito, esquema y cargas. Muchos ingenieros de carreteras creen que el período de diseño máximo se encuentra entre 15 y 24 años, por lo que un período de diseño de 20 años es ampliamente empleado. (AASHTO, 2001)

Se define entonces, como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el período de diseño elegido, a un costo razonable. Generalmente el período de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento (Cunalata Lasluisa, 2015), por lo tanto, éste será superior a 20 años.

#### **1.1.2.1.2- Patrón de expansión y crecimiento de las ciudades.**

Las ciudades son un espacio complejo, por su dinamismo, sus habitantes, las actividades tan diversas que en ellas se llevan a cabo, por lo que no se hace fácil definir los espacios urbanos y los rurales (Bottino Bernardi, 2009), estas abarcan extensiones que sobrepasan sus límites.

Hoy las ciudades se expanden más allá de su área administrativa original, formándose policentros de ciudades (Jan Bazant, 2008), lo que generan conflictos de movilidad, accesibilidad y conectividad entre los policentros y los centros de ciudades, influyendo gradualmente el desarrollo social y económico de los habitantes. Según las contemplaciones de (Montes Lira, 2001) los planes de ordenamiento territorial y urbano en América Latina, varían en dependencia de las necesidades del país, pero hay coincidencias en la mayoría. Para la autora las ciudades deben zonificarse atendiendo a lo siguiente:

- promover un modelo territorial sostenible y el mejor aprovechamiento y manejo adecuado de los recursos naturales.
- organizar el territorio, aprovechando sus ventajas comparativas para lograr una mayor competitividad.
- promover la equidad territorial para garantizar la oferta de bienes, y servicios urbanos a todos los ciudadanos.
- orientar y concentrar la acción de gobierno, la inversión pública y las actuaciones particulares hacia la consecución de los fines de sostenibilidad ambiental, equidad social, eficiencia económica y convivencia social, relacionados con el reordenamiento del territorio.
- fomentar y cimentar una cultura urbana en los ciudadanos, consistente en promover una visión compartida sobre el futuro de la ciudad y el territorio.

#### **1.1.2.2- Atributos de las ciudades y su entorno.**

El aumento de la población, la densificación de las ciudades y el aumento del parque automotriz hacen que los proyectos de infraestructura vial urbana sean desafíos permanentes. El objetivo es mejorar la conectividad a través del fortalecimiento de ejes

estructurantes en las grandes ciudades, con estándares de calidad que garanticen seguridad y fluidez en las rutas. Las redes viales que atraviesan la trama urbana, tienen como objetivo fundamental conectar cada lugar de la ciudad que origine un viaje, con cada punto que constituya su destino, generando de forma paralela conceptos como el de accesibilidad y movilidad (Santos Pérez, et al., 2018).

#### **1.1.2.2.1- Accesibilidad.**

Según (Espinel Febles, 1994) la accesibilidad es la mayor o menor facilidad de traslado de personas o mercancías entre el centro de una ciudad y su periferia y entre una ciudad y su región.

En un seminario sobre accesibilidad metropolitana, (Schelotto, 2004) señala lo siguiente: “Entendemos por accesibilidad urbana, el conjunto de atributos y de capacidades que hacen la posibilidad de que la población toda acceda a los beneficios de la vida urbana. Por accesibilidad entendemos no sólo la capacidad de desplazamiento de las personas sino al conjunto de los dispositivos que promueven, permiten, estimulan y alientan al uso social del espacio urbano, de las infraestructuras y de los equipamientos.”

La accesibilidad es entendida como la potencialidad de un entorno determinado para permitir la interacción entre el individuo y lo que quiere realizar (Jara & Carrasco, 2010).

La accesibilidad está definida por un concepto que tiene que ver con las posibilidades que el entorno urbano da al individuo para moverse, así como limitaciones que no solo tienen que ver con la dificultad para movilizarse espacialmente, sino también con el tiempo invertido en ello. Este tipo de limitaciones corresponde a barreras físicas sobre la accesibilidad de unas personas, las cuales pueden ser diferentes en relación al nivel socioeconómico del individuo (Vaccaro Rivera, 2011).

La accesibilidad es el conjunto de atributos y capacidades, propio de los lugares, que permiten a la población acceder a los beneficios de la vida urbana, condicionando las posibles elecciones de recorridos, además de la capacidad de llegar en condiciones adecuadas a los lugares desde el punto de vista de la calidad y disponibilidad de las infraestructuras, redes de movilidad y servicios de transporte (Santos Pérez, et al., 2018).

(Canito Alfonso, 2018) considera que la accesibilidad es el conjunto de atributos y de capacidades propios de las infraestructuras que hacen posible que toda la población acceda a los beneficios de la vida urbana.

Con el análisis de la bibliografía consultada la autora propone el siguiente concepto de accesibilidad: conjunto de dispositivos que permiten, promueven y estimulan el uso social del espacio urbano, de las infraestructuras, redes de movilidad y sistema de transporte, condicionando las posibles elecciones de recorrido para llegar en condiciones adecuadas a los lugares desde el punto de vista de la calidad.

#### **1.1.2.2.2- Movilidad.**

La movilidad es un concepto vinculado a las personas o mercancías que desean desplazarse o que se desplazan, se utiliza indistintamente para expresar la facilidad de desplazamiento o como medida de los propios desplazamientos realizados (Sanz, 1997).

Según (Santos y Ganges & De Las Rivas Sanz, 2008) la movilidad tiene que ver con la capacidad de desplazarse en el entorno, o sea, los movimientos físicos de personas y de bienes y servicios.

La movilidad es una herramienta para articular el territorio, para su recomposición y la de los espacios de vía. La movilidad es resultante de la distribución territorial de infraestructuras y servicios de transporte (Gutiérrez, 2010).

La importancia de la movilidad en la estructuración de la ciudad y en el funcionamiento diario de las personas, forma parte de la complejidad de los espacios urbanos que hoy día están habitados. La construcción de nuevas infraestructuras viales ha tenido un impacto significativo y ha diferenciado la movilidad cotidiana de los habitantes de las ciudades (Landon C., 2013).

La movilidad por su parte es el atributo individual o colectivo, propio de las personas, aunque trasladable también a los vehículos o medios de desplazamiento, definido además como el conjunto de desplazamientos que tienen que realizar las personas en un ámbito territorial determinado por motivos o causas variables. En resumen, estos fenómenos

constituyen el grado de facilidad con que se puede acceder a un lugar concreto, y el grado de facilitar los movimientos de un origen a un destino, respectivamente (Santos Pérez, et al., 2018).

Con el paso del tiempo y el desarrollo de los centros de ciudades y su consecuente expansión hacia las periferias y desarrollo de los sistemas de vías se introduce el término de movilidad sostenible que según (Santos y Ganges & De Las Rivas Sanz, 2008) es la expresión concentrada de una voluntad política, enunciada en el contexto del concepto de desarrollo sostenible y tiene por objetivo el uso racional de los medios de transporte. Por lo que la movilidad sostenible está enfocada no tan solo en lo medioambientalmente sostenible, sino también socialmente sostenible, incluyendo en este aspecto los efectos sobre la calidad de vida de las personas y las medidas frente a la falta de equidad.

(González García, 2017) Define como movilidad el grado de facilidad para desplazarse. Está muy ligada al estado de la vía, las velocidades de operación, composición y distribución del tráfico y existencia de dispositivos de control.

(Canito Alfonso, 2018) Conceptualiza a la movilidad como el atributo individual o colectivo, propio de las personas, que representa el grado de facilidad para realizar los desplazamientos de un origen a un destino.

La autora considera como movilidad al atributo individual o colectivo, propio de las personas, aunque trasladable también a los vehículos o medios de desplazamiento, definido además como el conjunto de desplazamientos que tienen que realizar las personas en un ámbito territorial determinado por motivos o causas variables.

#### **1.1.2.2.3- Conectividad.**

La conectividad hace referencia a la capacidad de enlace o de existencia de conexión, y todo ello, en el marco del tránsito en la ciudad (la movilidad urbana) y de la dualidad infraestructura-servicio. Conectividad haría así referencia a las cualidades de la red y, tal vez, nos pueda conducir al potencial de prestaciones del sistema de transporte, mientras que accesibilidad haría referencia directa al servicio prestado (Santos y Ganges & De Las Rivas Sanz, 2008).

Según (Bottino Bernardi, 2009) la conectividad hace referencia a cómo las ciudades se vinculan con los circuitos de comunicación, telecomunicación y sistema de información en los ámbitos nacional, regional y mundial; si una urbe no se vincula a esto no atraerá a las empresas de esta nueva economía.

La conectividad del transporte define tanto el acceso a los servicios de transporte, frecuentes y regulares, como un nivel de competencia en la oferta de servicios. También es una medida de la accesibilidad, concebida como la red de zonas o de nodos que están conectados en una estructura espacial (González Laxe, 2011)

La conectividad geográfica, según plantea (Aunta Peña, 2014) es la identificación de atributos naturales y artificiales que determinan la integración de un territorio. Desde el punto de vista metodológico, este autor indica que la conectividad sirve como categoría de análisis para la planificación regional. Plantea que la conectividad es una propiedad de una red para ofrecer itinerarios alternativos entre los centros.

Para tener redes eficientes de transporte público uno de los principales aspectos a considerar es el de la conectividad; según (Pereyra et al., 2014; Canito Alfonso, 2018) este término hace referencia a la capacidad de unir o ligar partes de un mismo aparato o sistema. Esto refleja la capacidad para que diversos puntos geográficos se encuentren conectados de manera que se puedan establecer relaciones de movilidad. La conectividad hace referencia a la capacidad de enlace o a la existencia de conexión en el marco del tránsito en la ciudad.

A partir de la consulta de las investigaciones realizadas por los autores anteriores, la autora define como conectividad la capacidad de enlace o existencia de conexión entre diferentes puntos geográficos, en el marco del tránsito de la ciudad, que está directamente relacionado con la movilidad urbana.

### **1.1.3- Soluciones dirigidas a la mejora de los atributos de las ciudades y su entorno.**

En regiones donde existe una constante expansión y además los proyectos viales constructivos y de rehabilitación no son proporcionales a su crecimiento demográfico y el parque automotor ya sea por las actividades locales o de paso se agrava la imposibilidad

de un buen desplazamiento de los vehículos por lo que se deben generar alternativas para mejorar atributos de la ciudad como por ejemplo la conectividad, la movilidad y accesibilidad (Correa Abril & Parra Tinjacá, 2015), respetando la conservación de los centros históricos y el paisaje de las ciudades (Buchanan, 1973).

#### **1.1.3.1- Intersecciones viales.**

Las intersecciones son zonas comunes a dos o más carreteras que se cruzan al mismo o diferente nivel y en las que se incluyen calzadas que pueden utilizar los vehículos para el desarrollo de movimientos posibles (INVIAS 98).

Las intersecciones viales son los elementos más complejos de la red vial (Wiskott, 2015), donde la repartición del espacio es muy delicada por la multiplicación de los conflictos. Allí se mezclan objetivos del tránsito, de seguridad, de comodidad para los peatones y, en muchos casos, de valorización del patrimonio o de preservación de la vida local.

Según (Rodríguez Rodríguez, 2016) se define intersección vial a la zona o área donde confluyen dos o más vías, permitiendo la mezcla de diferentes corrientes de tránsito, provenientes de diferentes orígenes y en busca de diferentes destinos, por lo que representan situaciones críticas que hay que tratar específicamente, para así obtener condiciones óptimas de seguridad y capacidad, dentro de posibilidades físicas y económicas limitadas. El principal objetivo del diseño de intersecciones es reducir los conflictos entre los vehículos, ciclistas y peatones que acceden a la misma.

A partir de los conceptos anteriores la autora plantea que una intersección vial es la zona donde confluyen dos o más carreteras que se cruzan al mismo o diferente nivel, permitiendo la mezcla de diferentes corrientes de tránsito para obtener condiciones óptimas de seguridad y capacidad.

La propuesta de solución de una intersección vial depende de un conjunto de condiciones relacionadas generalmente con las características geométricas de las carreteras que se entrelazan, las condiciones del flujo vehicular y las características topográficas de lugar de emplazamiento (Canito Alfonso, 2018).

#### **1.1.3.1.1- Intersecciones a nivel.**

Según el Manual de Proyecto Geométrico de Carretera de la (Dirección General de Servicios Técnicos, 2016; Rodríguez Rodríguez, 2016; Canito Alfonso, 2018; García García & Herrera Restrepo, 2018) las intersecciones a nivel se definen de acuerdo con su geometría en: de tres ramas, de cuatro ramas y de ramas múltiples. Además, se incluyen dentro de la clasificación, las siguientes variaciones: sin canalizar, ampliadas y canalizadas.

- De tres ramas: Este tipo de intersecciones se emplean en la resolución de encuentros entre carreteras principales y secundarias, por su disposición geométrica en planta, se diferencian en dos tipos:
- De tipo “Y” y tipo “T”, esta última es útil para conectar vías principales con secundarias, mejora las condiciones de visibilidad de los conductores y facilita el paso de los peatones.
- De cuatro ramas: En este tipo de intersecciones se produce un cruce de dos vías (cuatro ramales) generalmente de rango similar, se diferencian en dos tipos:
  - Tipo Cruz “+”
  - Tipo “X”
- De ramas múltiples: Este tipo de intersecciones es muy difícil de tratar por la confluencia de más de cuatro ramales al nudo, generalmente la solución ideal es suprimir alguno de los ramales, conectándolo fuera de la intersección; de no ser posible hay que llegar a soluciones complejas o de tipo giratorio.
- Glorietas o rotondas: Las glorietas o rotondas son intersecciones de 2 o más caminos, están compuestas por una calzada anular de un solo sentido de circulación, tiene prioridad sobre el tránsito entrante a la misma, controlado con señales de Ceda el Paso. La salida de vehículos de la glorieta es únicamente con giros a la derecha.

#### **1.1.3.1.2- Intersecciones a desnivel.**

Un paso a desnivel es un conjunto de ramales que se proyecta para facilitar el paso del tránsito entre unas carreteras que se cruzan en niveles diferentes. También puede ser la

zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todos los movimientos posibles de cambio de una carretera a otra, con el mínimo de puntos de conflicto posible. Los pasos desnivel se construyen para aumentar la capacidad o el nivel de servicio de intersecciones importantes, con altos volúmenes de tránsito y condiciones de seguridad insuficientes, así como para mantener las características funcionales de un itinerario sin intersecciones a nivel (García García & Herrera Restrepo, 2018).

Las intersecciones a desnivel se clasifican similarmente que las intersecciones a nivel, su tipo y formas pueden ser muy variadas, aunque principalmente corresponde a si los flujos vehiculares están total o parcialmente separados (Santos Pérez, 2016; Dirección General de Servicios Técnicos, 2016; García García & Herrera Restrepo, 2018). Luego de un arduo análisis la autora reconoce como soluciones de intersecciones a desnivel las siguientes:

- Trébol: Reciben su nombre porque las rampas de las gazas, para la vuelta izquierda, tienen la forma de hoja de trébol. Las intersecciones con gazas en todos los cuadrantes se les denomina tréboles completos y tréboles parciales a los que tienen una, dos o tres gazas.
- Diamante: Este tipo de intersección recibe su nombre por la forma de rombo alargado de las rampas en el sentido de la carretera principal. Sus principales ventajas son que el tránsito puede entrar y salir de la carretera principal, a velocidades relativamente altas y por lo general, el derecho de vía requerido no es mayor que el de la carretera principal.
- Trompeta: Este tipo de intersección recibe su nombre por su forma de trompeta conformada por una gaza semidirecta, una rampa semidirecta y dos rampas directas. La carretera principal pasa de frente, por arriba o por abajo de la carretera secundaria.
- Direccional: Son las intersecciones con rampas directas, con desviaciones pequeñas de la dirección donde se dirige el tránsito. Cuando todas las rampas no son directas en la intersección, se les denomina indirectas o semidireccionales.

Una intersección solucionada a diferentes niveles requiere inversiones importantes, por lo que su diseño y construcción deben justificarse en términos de seguridad y fluidez para los usuarios de la vía.

#### **1.1.3.1.3- Empleo de viaductos en anillos periféricos.**

Con el fin de resolver problemas del transporte y vialidad que repercuten en la calidad de los servicios que brinda la infraestructura vial de la ciudad, ya sea por la caducidad de las vías o los accidentes geográficos característicos de la ciudad que impiden el desarrollo de la misma por dentro de la trama urbana, se hace necesario la construcción de vías o anillos periféricos, como posible opción para aliviar problemas de congestión, entre el tráfico generado por la actividad local y el de paso, y conectividad entre los policentros de ciudades.

Para (Anaya Perla et al., 2004) un anillo periférico constituye una vía expresa con acceso únicamente a través de intercambiadores en arterias principales, donde los automovilistas no encuentran semáforos que detengan su marcha. Un anillo vial que circunda a la ciudad es una vía expresa con acceso únicamente a través de intercambiadores en arterias principales. Por lo que las longitudes de recorrido serán más largas, pero se acorta el tiempo.

Según (Canito Alfonso, 2018) los anillos periféricos son carreteras expresas que circunvalan una ciudad con el objetivo de que las grandes cargas rodantes y el flujo de paso no entren a ella de manera que no interactúen con el tráfico de la misma. Generalmente constituyen los límites urbanos de las ciudades y presentan características de carreteras rurales, aunque con el paso del tiempo y el crecimiento poblacional se ven atrapadas por las ciudades, surge la necesidad de adaptarlas y adquieren características de carreteras urbanas.

Por lo que la autora define anillo vial o periférico como una solución vial dirigida a rodear la ciudad con el fin de segregar el tráfico de paso y el generado por la actividad local, dando la posibilidad de completar los ejes principales de circulación creando vías

que permitan la movilidad generando conectividad entre diferentes puntos, descongestionando puntos de solape dentro de la red vial urbana.

Un viaducto es aquella obra de fábrica que salva como obstáculo una presa, depresión, lago, bahía, en las cuales las corrientes de agua no generan socavación, presentándose como condiciones para su diseño las dificultades de índole constructiva que muchos de estos pueden presentar (Gómez Díaz, 2015).

Según (Ramos, et al., 2017) un viaducto es una obra compleja sobre la cual discurre una carretera, además presenta vanos de luz superior a 9m.

Los viaductos forman parte de la nueva infraestructura lineal del transporte, que se puede adecuar a las condiciones geográfica de las zonas respetando el paisaje y los ecosistemas existentes (Nárdiz, 2008; Menéndez-Cuesta González, 2012; RAMOS et al., 2017; Romo Martín, s.f.).

A criterio de la autora un viaducto es una estructura capaz de salvar obstáculos ya sea marítimo o terrestre que se puede adaptar a las condiciones geográficas de las zonas respetando el paisaje y los ecosistemas, aunque el costo sea mayor que el de una obra de corte y relleno.

El empleo de viaductos en anillos periféricos se encuentra enmarcado por la geografía y las condiciones del terreno donde se emplazará el vial, también por la política de conservación del medio ambiente con una estructura transparente pero que a la vez resuelva atributos de la ciudad como la conectividad y la movilidad, con el fin de contribuir con el desarrollo de la infraestructura del transporte de la ciudad. Tendrá mucho que ver con los planes de ordenamiento territorial y urbano del municipio donde se emplazará, la proyección de estos planes hacia el futuro es lo que justificará la inversión de dicha estructura.

## **1.2- Justificación del empleo de viaductos en anillos periféricos.**

La fundación (MAPFRE, 2015) plantea que existe una solución alternativa para mejorar la seguridad vial, además de evitar la congestión y las emisiones vehiculares en el interior de las poblaciones: las vías o anillos periféricos.

Según (Anaya Perla et al., 2004) la construcción de vías, que su función sea la de mejorar los atributos de las ciudades a través de la segregación de los tráficos de paso del generado por la actividad local, descongestionando puntos de solape de la trama vial urbana se obtienen varias ventajas:

- Los conductores reducen su tiempo de recorrido, permitiéndoles el ahorro de combustible y disminución del costo de mantenimiento de los vehículos. Con este ahorro se beneficiará directamente la economía familiar de cada conductor.
- Surge como una verdadera respuesta ante la creciente demanda de la ciudad, que necesita calles de mayor capacidad, para ser transitadas en forma desahogada, ágil, tranquila y segura.
- Ayudan a desconcentrar hacia la periferia de las ciudades, actividades incompatibles con el funcionamiento de los centros de ciudades y otras generadoras de fuertes tráficos pesados, potenciando el desarrollo económico – industrial de estas zonas. Se generan una gran cantidad de empleos durante el tiempo de ejecución de la obra.

La mayoría de los proyectos viales en Cuba se han desarrollado implementando sistemas constructivos tipo corte - relleno, combinados con puentes y en algunos casos, con túneles. La mejor opción de construcción de un vial sólo puede determinarse mediante el análisis multidisciplinario e integrado de los factores ambientales y socioeconómicos, la evaluación comparada de los impactos ambientales en términos de demanda de recursos naturales y generación de contaminantes podría indicar la importancia de considerar esquemas de construcción alternativos a los tradicionales en el país.

La construcción de un viaducto es una alternativa de construcción de una vía mediante la cual se podrían reducir impactos asociados a movimientos de tierras, pérdida de cobertura

vegetal, afectación a las corrientes naturales, fragmentación de hábitats y pérdida de corredores turísticos, aunque esta alternativa demande seis veces más concreto y nueve veces más acero que una alternativa de corte-relleno, la toma de la decisión dependerá de las condiciones del entorno afectado y de la zonificación ambiental de cada proyecto (González Camargo & Romero Pereira, 2018).

Los puentes y viaductos englobados dentro de las infraestructuras de transporte, constituyen elementos señalados, cuya integración paisajística debe ser una de las premisas fundamentales de su diseño. Dentro de las infraestructuras los puentes y viaductos constituyen elementos singulares, en los que la traza se “despega” del terreno, constituyendo construcciones de gran visibilidad (Romo Martín, s.f.).

La demanda social, y nuestra tradición hace que se solicite un análisis crítico de las distintas soluciones con el fin de que la solución construida sea una obra respetuosa con el entorno en que se implanta.

Desde el punto de vista funcional las estructuras de tipo viaducto hace que los usuarios de la vía operen sin complicaciones entre los diferentes flujos de transporte, de manera que se propicie la movilidad, mediante la cual, los tiempos de viaje son reducidos y se respalde la conectividad entre los policentros de ciudades y la accesibilidad hacia el centro urbano fundacional, dichos atributos eran anteriormente limitados por las características de las carreteras tradicionales y el aspecto económico de las inversiones y a la vez eran las que contribuían a la conservación de los valores naturales y patrimoniales. Pero al ser la demanda mayor que la oferta, se hace necesario integrar en el trazado de las carretas las formas naturales y artificiales del territorio atravesado (Nárdiz, 2008).

La autora concuerda con los criterios de los autores en cuestión, de manera que establece el por qué cree factible la construcción de un viaducto en un anillo periférico:

- En correspondencia con las características geográficas del terreno, se pueden establecer soluciones complejas de cimentación y superestructura, sin afectar el paisaje, ni los ecosistemas.

- Las distancias de recorridos serán más largas para los usuarios de la vía, pero los tiempos y las congestiones serán menores y por tanto la accidentalidad, el ahorro de combustible será mayor, se disminuirá la contaminación atmosférica por el humo de los autos.
- Contribuirá además a segregar los tráficos de paso de los generados por la actividad local, propiciando conectividad entre los policentros dando posibilidad de trasladar actividades que no son compatibles con el centro urbano fundacional hacia las periferias.
- Se pueden combinar con otros sistemas constructivos como por ejemplo corte-relleno, realizando un balance de recursos.

### **1.3- Corrientes vehiculares que transitan por la red urbana.**

Una corriente vehicular es el conjunto de vehículos que circulan por una calzada en una dirección y en el mismo sentido, esta es la definición que ofrece el Manual de Ingeniería de Tránsito de (Radelat Egües, 1964; Canito Alfonso, 2018) y establece que los factores que afectan las corrientes vehiculares son:

- Variaciones en los conductores y sus deseos
- Características de los vehículos
- Características de las vías
- Influencia del tránsito

A nivel nacional estos factores prevalecen, existe una gran variedad de vehículos entre antiguos y modernos, la infraestructura vial urbana en mal estado y en gran parte congestionada al ser la demanda mayor que la oferta, los conductores con diferentes capacidades para conducir un vehículo agrava la situación actual de la ciudad en cuanto a vialidad dentro de la red urbana. Debido a estos fenómenos el empleo de anillos periféricos con soluciones transparentes que respeten los valores patrimoniales y el paisaje y que además cumpla sus funciones, se pueden disminuir las diversas corrientes vehiculares para que cada una tome su destino sin interrumpir el flujo de la otra.

### **1.3.1- Tiempo de recorrido.**

Según (Radelat Egües, 1964) el tiempo de recorrido es aquel que transcurre mientras un vehículo recorre cierta distancia, incluyendo el invertido en paradas, excepto cuando son ajenas a la vía. Este tiempo de recorrido está estrechamente relacionado con las demoras que son el tiempo perdido cuando un vehículo o vehículos están limitados en sus movimientos por elementos sobre los cuales los conductores no tienen ninguna acción. El conocimiento de estos dos parámetros es necesario tenerlo en cuenta en los estudios de tráfico por motivos como:

- El tiempo de recorrido sirve para evaluar la eficacia de una vía y es una medida relativa del grado de congestión que hay en ella. Puede usarse para calcular índices de congestión y suficiencia, a fin de compensar la facilidad que ofrecen a la circulación diversas vías entre sí o una misma vía en distintos momentos.
- Los datos sobre tiempo de recorrido pueden emplearse para hacer análisis de costos y beneficios o para estimar el consumo de combustible.
- Los tiempos de recorrido se utilizan para predecir el volumen de tránsito que se encausará por nuevas vías, así como para calcular los porcentajes de persona que usarán respectivamente el automóvil y el transporte colectivo.
- Los datos sobre velocidad y demoras proporcionan información sobre los lugares que se retrasa más el tránsito y sobre las causas de estos retrasos.
- Pueden usarse los tiempos de recorrido para valorar la efectividad de ciertas medidas para regular el tránsito.

Mediante el empleo de vías periféricas se reducen los tiempos de recorrido al no existir congestión por la disminución de las corrientes vehiculares por la no interrupción del flujo, logrando la movilidad requerida y la acción continua del conductor sobre el vehículo.

### **1.3.2- Longitud de recorrido.**

La longitud de recorrido se puede definir como la longitud transitada por el usuario desde su origen a su destino.

Con el emplazamiento de anillo periféricos la longitud de recorrido tiende a aumentar porque es un vial que rodea la ciudad, no la atraviesa por dentro de la red de tránsito urbana, pero se justifica por la disminución de los tiempos de recorrido al mejorar la velocidad de circulación, la movilidad y la maniobrabilidad del conductor al no tener varias corrientes vehiculares circulando en la misma área.

#### **1.4- Normativas sobre vialidades de ciudades y su diseño.**

Las normativas sobre vialidad de ciudades y su diseño surgen a partir de la necesidad de resolver conflictos vehiculares a partir de las necesidades de cada país (Suárez Joya; Pantoja Santander, 2005). En las mismas se propone una metodología de diseño y planeamiento de viales, los cuales reflejen diseños más justos y seguros desde el punto de vista del transporte y la movilidad (Esquivel Fernández, 2011).

##### **1.4.1- Normativas nacionales.**

Como parte de las normativas nacionales e internacionales vigentes respecto al diseño de vías rurales, se puede mencionar, que a nivel nacional se destaca la NC 853: 2012 (Oficina Nacional de Normalización, 2012) que establece la categorización técnica de las carreteras rurales de la red nacional, así como las características geométricas del trazado directo de las mismas. Esta norma a su vez hace referencia a la NC 757: 2010 (Oficina Nacional de Normalización, 2010b) para el diseño de vías rurales expresas que poseen un volumen de tránsito elevado. Esta surge por la no existencia de un documento normativo que establezca los requisitos para el diseño geométrico de vías expresas en Cuba, y por la existencia de una gran cantidad de kilómetros de vías expresas rurales. A ello se suma la carencia de vínculos entre los criterios de diseños asumidos en cada proyecto elaborado. La NC 757: 2010 tiene como objetivo establecer los requisitos para el diseño geométrico de las vías expresas rurales de tránsito intenso, los gálibos para cruces, desvío de calzadas y la disposición de áreas para diferentes servicios y es aplicable a todo proyecto de obra nueva o en la reconstrucción y realineación de vías expresas rurales existentes. Para la confección de esta norma se tuvo en cuenta la norma de la (AASHTO, 2011), el Policy on Geometric Design of Highways and Streets, por la referencia que hace en su contenido al diseño de vías rurales.

#### **1.4.2- Normativas internacionales.**

De las normas extranjeras la más representativa es Policy on Geometric Design of Highways and Streets de la (AASHTO, 2011), que en su contenido hace amplia referencia al diseño de vías urbanas, y dentro de ella, una explicación a la forma de obtención de cada uno de sus requisitos de diseño, además generalmente en Latinoamérica se toman ciertos parámetros de la misma para confeccionar sus normas.

Por nombrar otras se puede nombrar el Highway Capacity Manual ((HCM),2000), el cual constituye uno de los documentos principales para el análisis operacional de carreteras bidireccionales, el cual se puede adecuar a condiciones locales a través de estudio de campos. (Maldonado; Herz; Galarraga, 2012).

En México se encuentra el Manual de Diseño Geométrico de Vialidades (Dirección General de Ordenación del Territorio, 2005). Este documento forma parte de un conjunto de manuales desarrollados con el fin de orientar y auxiliar a las instituciones responsables a nivel central, estatal y municipal en las tareas inherentes a los procesos de solución de los problemas de transporte urbano en las ciudades medias mexicanas (Canito Alfonso, 2018; Santos Pérez, 2016)

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia, 2008) representa otro documento rector a nivel internacional respecto al diseño de las vías urbanas. Este manual sintetiza de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de carreteras, establece parámetros para garantizar la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos, unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración del proyecto, según sea su tipo y grado de detalle.

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del (Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia, 2008), la del 2008 es la actualización más reciente de dicho manual, el cual constituye un documento rector a nivel internacional respecto al diseño de las vías rurales. Este manual sintetiza de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de carreteras, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia

y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración del proyecto, según sea su tipo y grado de detalle (Agudelo Ospina, 2002).

### **1.5- Solución Conceptual como interfase de la documentación técnica del proyecto.**

El análisis del Reglamento del Proceso Inversionista (Consejo de Ministros, 2015) permitió definir que las soluciones conceptuales constituyen la primera etapa del proyecto, partiendo de la tarea de proyección y otras informaciones iniciales entregadas por el inversionista, y se elaboran en coordinación o consulta con este y otros sujetos del proceso. Según el articulado del documento, esta nueva interfase constituye la primera respuesta a la solicitud del inversionista para las alternativas de la inversión. Su alcance incluye el desarrollo del planeamiento, zonificación, funcionalidad, tecnología, energía y completamiento de la programación técnica de necesidades, de acuerdo con el alcance de la solicitud y la información entregada por el inversionista.

La documentación escrita y gráfica de las soluciones conceptuales o proyecto técnico, se expone de forma esquemática o muy elemental, pero clara y precisa, mediante croquis o dibujos a escala y cálculos que fundamenten las soluciones de ingeniería adoptadas y formuladas. Permite la evaluación técnica preliminar de las soluciones fundamentales de la inversión. Constituye un primer nivel de aproximación y de precisión del presupuesto estimado en la tarea de proyección, por lo que su documentación sirve de base al inversionista para los estudios de prefactibilidad y establece las ideas rectoras de la configuración que posteriormente será desarrollada por los proyectistas.

### **Conclusiones parciales del capítulo:**

1. El planeamiento vial dentro del ordenamiento de las ciudades constituye un elemento determinante en el desarrollo de la ciudad y conduce a un buen uso de los suelos con políticas ambientales y urbanísticas acorde con las necesidades de la urbe.
2. En las ciudades, dada su ubicación geográfica, las características de su sistema vial interno y su conexión con la red vial nacional, confluyen corrientes vehiculares de paso ocasionando puntos de solape que complejizan las condiciones de circulación dentro de la trama urbana.
3. Las vías periféricas son una solución vial eficaz dirigidas a la mejora de los atributos de las ciudades tanto a nivel nacional como internacional.

## **CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.**

El presente capítulo recoge los procedimientos para el desarrollo tanto del trabajo de campo, como de los métodos matemáticos empleados. El procedimiento para determinar los valores necesarios en la elección de las características geométricas de la solución conceptual de un viaducto como solución para una vía periférica en la ciudad de Matanzas.

### **2.1- Análisis del sistema vial de la ciudad de Matanzas y su entorno.**

Se realiza un análisis del sistema vial de la ciudad y su entorno, teniendo en cuenta la información recopilada por varias instituciones como por ejemplo la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF) y la Oficina del Conservador de la Ciudad, las cuales tienen como herramienta el Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) como elemento rector de la actividad administrativa de la ciudad, que de éste se derivó el Plan de desarrollo del Turismo, el cual contiene las propuestas para el desenvolvimiento económico de la ciudad aprovechando sus atractivos visuales para combinar lo útil y lo agradable, así mismo contiene las obras que serán el enlace entre los visitantes y el destino, haciendo énfasis el mejoramiento y desarrollo de la infraestructura vial.

Dichos planes contienen una serie de parámetros que disciplinan la utilización y transformación de los suelos y un cronograma de las acciones para llevar a cabo las transformaciones, además regula las inversiones del sector estatal y el privado con un carácter sistémico, así mismo contiene la situación actual de la infraestructura vial de la ciudad, entre otras. Se realizará un análisis con la información de dichos planes para entender los fenómenos actuales y los planificados para el futuro, atendiendo a los siguientes parámetros que nos permitan a partir del entendimiento de la red general, la influencia en la zona de estudio, en este caso San Juan- Versalles.

- Accesos o entradas/salidas a la ciudad: estos son los que conectan a la ciudad con la red nacional, desde los diferentes puntos geográficos de la ciudad, teniendo en cuenta los límites de la misma.

- Principales ejes de circulación: se corresponde con viales de tipo colectoras que enlazan los diferentes policentros entre ellos y también con el centro de la ciudad, es decir los que hacen posible el movimiento para desarrollar las necesidades locales.
- Conexión entre accesos y ejes: son vías que tienen una doble funcionalidad, es decir son receptoras de tráfico de paso y del generado por la actividad local en dependencia del origen y del destino del viaje.
- Conexión entre accesos: son las vías que se incluyen dentro de la trama urbana para dar conectividad con los diferentes policentros de ciudad, coincide generalmente con vías que no poseen las propiedades para su función.

## **2.2- Ejecución del reconocimiento de la faja de emplazamiento.**

Para la ejecución del reconocimiento de la faja de emplazamiento se emplean medios manuales y tecnológicos (González Hernández, 2017), siendo los primeros más comunes por su disponibilidad. Para su desarrollo se requiere:

- Disponibilidad de los recursos como por ejemplo cámaras fotográficas y cintas de medición.
- Las personas presentes deben tener conocimiento y dominio del objetivo del reconocimiento de lo que existe para no trabajar de más, de manera que se realicen los trabajos de manera rápida y segura al estar en contacto con el tráfico.
- Evaluar y definir los elementos de la faja de emplazamiento a medir para garantizar una propuesta lo suficientemente acercada a la realidad para proporcionar confianza en la solución propuesta y que se emplee en las consiguientes fases del proceso inversionista.

### **2.2.1- Características geométricas, de circulación y tipológicas de la faja de emplazamiento a tener en cuenta durante la ejecución del reconocimiento.**

La información que se pretende recopilar se corresponderá con las características de los puntos de interés, los cuales corresponden con puntos de solape del nuevo vial con accesos, ejes principales de circulación y espacios donde se pretende crear soluciones

para redistribuir el tráfico para aliviar las interferencias durante los viajes, que sirve para la determinación de la sección transversal y la capacidad de la nueva vía (Martínez Gómez, 2000; Ortega García, 2018), así como las características de operación o niveles de servicio de la vía en explotación.

- Geométricas y de circulación:

Número de carriles.

Ancho de carriles, paseos y carriles lentos si hay.

Pendiente media.

Radios de curvaturas y radios mínimos.

Distancia media a obstáculos laterales.

Porcentaje de la longitud del tramo con distancia restringida de visibilidad.

Longitud.

Velocidad de proyecto.

Composición vehicular.

- Tipológicas:

Tipo de carreteo en cuanto a calzada, sentidos separados o no.

Vía urbana o rural.

Características sociales, territoriales y de medio ambiente.

### **2.3- Análisis de la demanda actual y futura del tráfico.**

El valor de la demanda o tráfico actual que circula por las vías existentes es un parámetro que justifica su construcción, por lo que su obtención exige un estudio técnico confiable (Canito Alfonso, 2018). Para la comprensión de los fenómenos que ocurren en la infraestructura actual se realizarán varios estudios basados en datos obtenidos de aforos vehiculares efectuados en años anteriores, tabulados en *Microsoft Excel*, debido a la poca frecuencia con que se realizan los estudios en el territorio.

#### **2.3.1- Promedio Anual del Volumen Diario de Tránsito (PAVDT) para un año “n”.**

A partir del procesamiento de los datos del aforo se realiza una proyección del tráfico hacia el momento actual mediante el método clásico de Ingeniería de Tránsito que utiliza

una fórmula de interés compuesto financiero para realizar pronósticos al futuro a partir de valores puntuales de parámetros característicos del comportamiento de las corrientes vehiculares (Ecuación 2.1). Esta se emplea en dos momentos, inicialmente, para llevar el volumen de tráfico del año del aforo vehicular realizado hasta el año en que se desarrolla la investigación, y en un segundo momento para pronosticar el volumen futuro.

Los valores de tráfico obtenidos para el año deseado se multiplican por los coeficientes de expansión para llevarlos de 12 horas a 24 horas y de mes a año. El resultado es un aproximado del tráfico que circula actualmente por las vías que tributan a la carretera propuesta.

$$\text{PAVDT}_n = \text{PAVDT}_0 (1 + \gamma)^{n-1} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Dónde:

- $\text{PAVDT}_n$ : Promedio Anual del volumen Diario de Tránsito para el año futuro “n”.
- $\text{PAVDT}_0$ : Promedio Anual del volumen Diario de Tránsito en el presente.
- $\gamma$ : Razón de crecimiento.
- n: Cantidad de años desde la referencia hasta el año de análisis.

Con los valores obtenidos se confeccionan flujogramas y gráficos que reflejen la distribución por ramales del tráfico que arriba a la zona de emplazamiento y su redistribución en los flujos de salida, tanto para el momento actual como para el futuro.

Con vistas a obtener valores de previsión de la demanda más reales y exactos, se debe segmentar su cálculo en períodos anuales, permitiendo el empleo del valor de la razón de crecimiento del tráfico correspondiente a cada año.

Para la conformación del volumen de tráfico demandado en la vía propuesta se consideran porcentos de los volúmenes de tránsito de las vías existentes, que tributarán al nuevo proyecto según el análisis de rutas de viajes que contienen en su itinerario los puntos de inicio y de fin del tramo en estudio.

### **2.3.2- Tránsito futuro. Factor de proyección del tránsito.**

El tráfico hacia el futuro juega un papel importante en la determinación de la sección transversal de la nueva vía, porque al no ser mejorada se van incorporando nuevos tráficos:

- Viajes que previamente se realizaban, pero que ahora son incrementados debido a una mayor demanda (transporte público).
- Viajes nuevos no realizados anteriormente por ningún tipo de transporte, motivados por cambios en el uso del terreno (mayor desarrollo).

La metodología propuesta por (Martínez Gómez, 2000) plantea que aunque la tasa anual de crecimiento de tránsito puede ser mayor, los valores más comunes oscilan entre el 2% y el 6% dependiendo del tipo de vía, los focos generadores de tráfico que estas unen, y del desarrollo socioeconómico del país en que se seleccione dicho valor. En Cuba para un período de proyección de 20 años varía entre 1.3 y 2%. En el caso de los Estados Unidos de América el factor varía entre 1.5 y 2.5% en vías rurales, sin embargo, para vías rápidas que conectan grandes puntos generadores de tráficos está entre 1.8 y 3%.

### **2.4- Categoría técnica de la vía, capacidad, volumen y nivel de servicio.**

La categoría técnica de la vía servirá de base para determinar la capacidad, volumen y nivel de servicio que se encontrará operando como criterios para determinar el agotamiento de los accesos y se determinará el tipo de intersección vial para garantizar la operación como criterio de extenuación de la solución actual.

#### **2.4.1- Categoría técnica de la vía.**

La categorización técnica de las carreteras se realiza en función de estudios técnicos económicos que comprenden intensidad de tránsito, tipo de terreno y destino funcional. En función de la intensidad de tránsito las carreteras se dividen en las siguientes categorías técnicas (Oficina Nacional de Normalización, 2012). (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1. Categorías técnicas de las carreteras**

Categoría técnica	Intensidad de tránsito (PAVDT) veh/día
1 Vías expresas rurales	Mayor que 8000
2 I	Mayor que 4000 a 8000
3 II	Mayor que 2000 a 4000
4 III	De 750 a 2000
5 IV	Menor que 750
Nota: para vías expresas rurales (ver NC 754)	

*Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2012)*

#### **2.4.2- Capacidad, volumen y nivel de servicio de la vía.**

El proceso para la determinación de la capacidad vial, volumen y niveles de servicio se rige por los métodos de cálculo establecidos en la NC 53-118/1984 (Vías con flujo ininterrumpido. Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio), la cual, basada en la metodología brindada por la AASHO en 1965 (Santos Pérez, 2016), mantiene su vigencia en el territorio nacional. De esta forma se valorará si puede cumplir con un ciclo de vida útil esperado antes de estar en el nivel de servicio crítico. Esto se realizará valorando los mismos parámetros empleados para la demanda actual (Ortega García, 2018), pero con los valores futuros. Para agilizar los procesos se emplearán tablas de *Microsoft Excel*.

1. se determinará la relación  $v/c$ , para determinar el nivel de servicio posteriormente, mediante la tabla 2.2 (anexo 1), correspondiente a la tabla 6 anexo C de la NC 53-118.

Dónde:

v: volumen del servicio del nivel que se quiere brindar.

c: capacidad real.

2. determinación de la capacidad real en vías de múltiples carriles mediante la ecuación 2.2.

$$C= 2000* N*W*Tc*Bc \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

Dónde:

C: Capacidad real, vehículos por hora, total para un sentido de circulación.

N: números de carriles para un sentido de circulación.

W: se obtiene mediante la tabla 2.3 (Anexo 2), correspondiente a la tabla 7 anexo C de la NC 53-118.

Tc: factor de corrección de que toma en cuenta el porcentaje de camiones por la corriente de vehículos a partir de la ecuación 2.3.

$$Tc= 100/(100 - Pt + Et*Pt) \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

Dónde:

Pt: porcentaje de camiones

Et: carros equivalentes de pasajeros para camiones, según se analice la vía en toda su longitud o en una pequeña sección de ella, se obtendrá mediante las tablas 2.4 y 2.5 (Anexos 3 y 4 respectivamente), correspondientes con las tablas 8 y 9 anexo C de la NC 53-118.

Bc: factor de corrección que toma en cuenta el porcentaje de ómnibus en la corriente de vehículos, se obtendrá por medio de la ecuación 2.4.

$$Bc=100/(100 - Pb + Eb*Pb) \quad \text{(Ecuación 2.4)}$$

Dónde:

Pb: porcentaje de ómnibus.

Eb: carros equivalentes de pasajeros para ómnibus, según se analice la vía en toda su longitud o una pequeña sección de ella se obtendrá en la tabla 2.6 (anexo 5) correspondiendo con la tabla 10 anexo C de la NC 53-118.

Si el porcentaje de ómnibus es mayor que 3 se empleará la tabla número 3 de la norma disponible en el anexo 5.

3. Determinación de los volúmenes de servicio en vías de múltiples carriles mediante la ecuación 2.5.

$$VS= 2000*N*(V/C)*W*TI*BI \quad \text{(Ecuación 2.5)}$$

Dónde:

VS: volumen de servicio, vehículos por hora, total para un sentido de circulación.

4. Determinación de los niveles de servicio.
  - 4.1. Se subdivide la sección de carretera en subsecciones, de tal forma que tenga condiciones de uniformidad desde el punto de vista de la capacidad real.
  - 4.2. Se determina en cada subsección de carretera V/C.

Dónde:

V: demanda (volumen de la hora pico)

C: capacidad real para las condiciones existentes de tránsito y vía.

## **2.5- Requisitos del diseño.**

Los requisitos mínimos del proyecto que se necesitan para el prediseño geométrico de las vías expresas son los siguientes (Oficina Nacional de Normalización, 2010b; Canito Alfonso 2018):

- Tipo de terreno
- Velocidad de diseño

- Sección transversal típica
- Trazado en planta
- Trazado de perfil

### 2.5.1- Tipo de terreno.

El tipo de terreno donde se emplazará una carretera le otorga una clasificación dentro de la categoría de la vía. Según la (Oficina Nacional de Normalización, 2010b, Oficina Nacional de Normalización, 2012) los terrenos se clasifican en:

- Llano: cuando media una longitud de 500 m a lo largo del eje de la vía y dentro de la faja de emplazamiento. La diferencia de nivel entre el punto más alto y el más bajo es menor que 20 m.
- Ondulado: cuando la diferencia de nivel entre dichos puntos está entre 20 m y 35 m.
- Montañoso: cuando la diferencia de nivel entre dichos puntos es mayor que 35 m.

### 2.5.2- Velocidad de diseño.

La velocidad de diseño que se empleará para proyectar depende del tipo de terreno en que se encuentre la obra. (Tabla 2.7 a y b).

**Tabla 2.7 a. Velocidades de diseño NC 754: 2010.**

Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h)
Llano	140
Ondulado	120
Montañoso	100
NOTA: En casos excepcionales y con previa justificación técnico - económica la velocidad de diseño en terrenos montañosos se podrá reducir de 100 km/h a 80km/h.	

*Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 2010b).*

**Tabla 2.7 b. Velocidades de diseño NC 853: 2012.**

Categoría técnica de la carretera		Velocidad de diseño (km/h)	
Tipo de terreno			
LL	O		M
I	100	80	60
II	80	60	50
III	60	50	40
IV	50	40	30

*NOTA: Estas definiciones se utilizan para generalizar el tipo de terreno en un tramo del trazado, dándole la clasificación del tipo predominante. Este tramo de trazado debe ser como mínimo de 3,0 km.*

*Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2012)*

### **2.5.3- Sección transversal típica.**

La sección típica de una carretera constituye uno de los parámetros que caracterizan a estas. Según la (Oficina Nacional de Normalización, 2010b), para la determinación de la misma los requisitos mínimos de proyecto a establecer para el diseño geométrico de las vías expresas son:

- ancho de los carriles
- bombeo del pavimento
- ancho de los paseos
- pendiente de los paseos
- ancho del separador central o mediana

#### **2.5.3.1- Ancho de los carriles.**

A los efectos de la (Oficina Nacional de Normalización, 2010b) el ancho de los carriles depende del tipo de terreno y de la velocidad de diseño. (Tabla 2.8 a y b).

**Tabla 2.8a.** Ancho de los carriles NC 754: 2010.

Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h)	Anchura del carril (m)
Llano	140	3,75
Ondulado	120	3,75
Montañoso	100	3,50

NOTA 1: El número mínimo de carriles por cada sentido de circulación es dos.

NOTA 2: Cuando hay que estudiar la posibilidad del carril de marcha lenta para vehículos pesados, la anchura de este carril es 3,50 m.

NOTA 3: En vías expresas rurales con más de dos carriles por cada sentido de circulación no será necesario concebir el carril de marcha lenta; en casos excepcionales este carril se concebirá previa justificación técnico-económica.

NOTA 4: Para velocidades de diseño menores que 100 km/h la anchura del carril será 3,50 m

*Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).*

Tabla 2.8b. Ancho de los carriles NC 754: 2010.

Categoría	Vehid	I mayor que 4 000 a 8 000						II mayor que 2 000 a 4 000						III De 750 a 2000						IV menor que 750					
		LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M						
PAVDT		100	80	60	80	60	50	60	50	40	60	50	40	50	40	30	50	40	30						
Tipo de terreno	km/h	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	15	15	15	15	15						
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	15	15	15	15	15						
1	m	3,75	3,50	3,50	3,25	3,25	3,25	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00						
2	m	7,50	7,00	7,00	6,50	6,50	6,50	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00						
3	m	3,00	2,50	2,00	2,50	2,00	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00						
4	m	13,50	12,00	11,00	11,50	10,50	9,50	9,00	9,00	8,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00						
5a	Curvatura máxima horizontal	3°20'	5°30'	10°30'	5°30'	10°30'	-	10°30'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	s = 10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
5b	Radio mínimo horizontal	-	208,35	109,14	208,35	109,14	-	109,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	s = 6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
6	Inclinación máxima de la rasante	3	5	8	4	6	9	5	7	10(12)	6	8	12(14)	6	8	12(14)	6	8	12(14)						
	%	3	5	8	4	6	9	5	7	10(12)	6	8	12(14)	6	8	12(14)	6	8	12(14)						
7	Kv mínimo deseable de curvas verticales	100	50	20	50	20	15	20	15	10	15	10	10	15	10	10	15	10	10						
	Depre- sion	50	35	20	35	20	15	20	15	10	15	10	10	15	10	10	15	10	10						
8	Distancia de visibilidad de parada en horizontal (Dp)	210	140	95	140	95	60	95	60	45	60	45	45	60	45	45	60	45	30						
	m	210	140	95	140	95	60	95	60	45	60	45	45	60	45	45	60	45	30						
9	Distancia de visibilidad de adelantamiento en horizontal (Da)	700	560	420	560	420	350	420	350	280	350	280	280	350	280	280	350	280	210						
	m	700	560	420	560	420	350	420	350	280	350	280	280	350	280	280	350	280	210						
10	Gálibo vertical	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50						

Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

Como se puede apreciar en la tabla 2.8 b de la NC 853: 2012 aparecen los valores de todos los elementos geométricos de la sección transversal y del trazado. Se seguirá mostrando los valores según la NC 754: 2010.

### 2.5.3.2- Bombeo del pavimento.

El bombeo de la sección transversal típica de la carretera según (Oficina Nacional de Normalización, 2010b) será a dos aguas siendo los puntos de referencia los bordes exteriores de cada sentido de circulación. Los valores de pendientes transversales se establecen. (Tabla 2.9).

**Tabla 2.9. Bombeo de la sección transversal NC 754: 2010.**

Tipo de pavimento		Pendiente transversal (%)	
Valor permisible		Valor recomendado	
Hormigón hidráulico	1,5 a 2,5	1,5	
Hormigón bituminoso	1,5 a 2,5	2,5	

*Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).*

### 2.5.3.3- Paseos y bermas.

A partir de la (Oficina Nacional de Normalización, 2010b) los paseos estarán totalmente pavimentados y a continuación de los mismos se concebirá la berma cuyo ancho será de 0,50 m. La anchura de los paseos se puede observar en la tabla 2.5.

**Tabla 2.10. Ancho de paseos y bermas NC 754: 2010.**

Faja de emplazamiento (m)	60	60	60	60
Velocidad de diseño(km/h)	140	120	100	80
Máximo volumen de servicio para 2 carriles en una dirección (vehículos)	2000	2000	1600	1400

ligeros por hora)					
Ídem por carril adicional	1500	1500	800	700	
Ancho de carril (m)	3,75	3,75	3,50	3,50	
Ancho de paseo (m)		izquierda			
derecha	3,00	3,00	3,00	3,00	
Ancho del separador (m)	5,00	5,00	3,00	3,00	
Ancho de bermas laterales al paseo (m)	0,50	0,50	0,50	0,50	
Distancia segura de frenado (m)	345	295	210	140	
Distancia de anticipación (m)	1000	800	600	400	
Rampa máxima (%)	3	4	5	6	
Pendiente máxima (%)	5	6	6	6	
K mínima de curvas verticales	Cima	280	210	105	50
Depresión	90	80	55	35	
Radio mínimo (m)	Absoluto	1000	1000	665	425
Normal	1400	665	425	240	
Superelevación máxima (m)	Excepcional	7	7	7	7
Normal	5	5	5	5	

Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

#### 2.5.3.4- Ancho del separador central o mediana.

Los valores del ancho del separador central se pueden observar en la siguiente tabla. (Tabla 2.11).

*Tabla 2.11. Ancho del separador central NC 754: 2010.*

Tipo de terreno	Ancho mínimo (m)
Llano	5,0
Ondulado	5,0
Montañoso	3,0

NOTA: Si se prevé una ampliación futura en lo referente a la cantidad de carriles, se recomienda aumentar la anchura del separador central o la mediana en la medida que sea necesaria, con vistas a la construcción de los nuevos carriles en su interior

*Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).*

#### 2.5.4- Trazado en planta.

Para la determinación del trazado en planta se tomará como condiciones los criterios de alineación pertenecientes a (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

La alineación será tan directa como sea posible, pero estará de acuerdo con la topografía. Se evitará dentro de lo posible, en aquellas alineaciones previstas para una velocidad de diseño dada, el uso de la máxima curvatura que corresponda a la misma.

Las alineaciones siempre serán compatibles. No se introducirán curvas cerradas en los extremos de rectas largas. Se evitarán los cambios bruscos de tramos de curvas suaves a tramos de curvas cerradas. Cuando se haga necesario el uso de estas últimas se hará la aproximación a ellas por medio de curvas cada vez más cerradas.

Cuando los ángulos de inflexión sean pequeños, se diseñarán curvas de gran radio (grado de curvatura pequeño) buscándose un mayor desarrollo de las mismas, hasta un valor de 10°.

En terraplenes de gran longitud y elevados hay que evitar toda curvatura que no sea abierta (curvas suaves).

Todas las curvas compuestas serán adaptadas con espirales intermedias. No se permite el empleo de curvas circulares solamente.

Se evitarán los cambios bruscos en la alineación.

Se evitarán las curvas de “lomo roto” y tramos intermedios de recta menores que 450 m, se tiene que proceder al igual que con las curvas compuestas (adaptar con espirales) cuando no se pueden evitar.

Para evitar el efecto de distorsión, la alineación en planta será cuidadosamente coordinada con el perfil de la rasante.

### **2.5.5- Trazado en perfil.**

De igual manera se procederá para el trazado del perfil con los elementos de la NC 754: 2010 Carreteras requisitos para el diseño geométricos de las vías expresas rurales y considerando los elementos para la alineación del perfil (Oficina Nacional de Normalización, 2010b), como se muestra:

- Se concebirá un perfil con rasante suave y cambios graduales de acuerdo con la vía y el tipo de terreno, en vez de uno con numerosos cambios de rasante y longitudes de pendientes cortas.
- Se evitarán las rasantes accidentadas (tipo “montaña rusa” o las de “depresión escondida”) sobre todo en este último es donde ocurren las “pérdidas de trazado” que conspiran contra la seguridad de la vía. Este tipo de perfil se evita con curvas horizontales y con cambios graduales de rasantes posibles, con mayores excavaciones y terraplenes.
- Efectuar el redondeo de las cimas y depresiones para que no hagan efecto de puntos angulosos.
- Análisis de las rasantes onduladas que desde el punto de vista dinámico benefician el tránsito.
- Se evitarán las rasantes “lomo roto” particularmente en depresiones.
- En longitudes largas de rasantes, es preferible proyectar las más fuertes en la parte inferior disminuyéndolas cerca de la parte superior del ascenso o rompiendo la rasante sostenida mediante pequeños tramos de pendiente más ligeras, en vez de una rasante sostenida y uniforme que podría ser sólo menor que la máxima permisible (ver Tabla 2.9).

- En autopistas con tránsito de vehículos pesados superior al 30 % del total, se considerará el proveer sendas adicionales para el ascenso de estos vehículos en las rampas donde excedan las longitudes críticas de rasante sostenida

**Tabla 2.12.** Valores de rasante mínima NC 754: 2010.

Calzadas	Tipo	Velocidad de diseño (km/h)			
		140	120	100	80
		Rasante mínima (%)			
Unidas	Rampas	3	4	5	6
	Pendientes				
Separadas	Rampas	5	6	6	6
	Pendientes				

Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

## 2.6- Análisis de las alternativas de las soluciones viales del tramo que se estudia.

Para realizar la mejor elección de una tipología constructiva adecuada deben ser estudiadas a fondo la mayor cantidad posible de soluciones disponibles (Ortega García, 2018), así como sus ventajas y desventajas en cuanto a:

**Economía:** En economías emergentes y planificadas como la de Cuba el factor económico es fundamental porque por lo general se disponen de recursos limitados y es importante ajustarse a estas restricciones, teniendo en cuenta los accesos, empleo de maquinarias de construcción, posibles estructuras prefabricadas, por lo que se definirán las características del diseño.

**Adecuación a la zona de emplazamiento:** Se tendrá en cuenta para definir un trazado acorde con las necesidades de mejorar los atributos de la ciudad teniendo en cuenta el grado de afectación urbana, también el ambiental y el paisajismo.

**Características operacionales:** Se describirán las maniobras que corresponden con el nuevo trazado, para evaluar la comodidad de los usuarios en la vía.

**Recorrido más directo:** Se analizará para definir un trazado que disminuya los tiempos de recorrido hasta llegar al enlace que definirá el nuevo destino.

## **Conclusiones parciales del capítulo**

1. A partir de la adecuación al objeto de estudio de los elementos analizados en la revisión bibliográfica, se definen los requisitos para la identificación de los puntos de interés, y los parámetros para la evaluación de las condiciones geométricas, de circulación y tipológicas de la solución vial propuesta.
2. El método tradicional de estimación de la demanda de tránsito, mediante la fórmula del interés compuesto es aplicable, ya que sus parámetros se ajustan al caso de estudio en cuestión.
3. La categorización técnica de las carreteras rige el procedimiento de diseño vial y su dependencia del Promedio Anual del Volumen Diario de Tránsito (PAVDT) exige un estudio técnico preciso de la solución vial propuesta.

## **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

En el presente capítulo se aplica la metodología descrita en el capítulo anterior para aplicarlo en el prediseño de un enlace vial por la periferia interior de la ciudad de Matanzas de manera que se garantice la suficiencia del vial, satisfaciendo la demanda a corto, mediano y largo plazo.

### **3.1- Sistema vial de la ciudad de Matanzas y su entorno.**

La infraestructura vial de la ciudad de Matanzas tiene la particularidad de estar limitada por accidentes geográficos como la bahía, los ríos San Juan, Yumurí y Canímar y el valle de Yumurí. Esta peculiaridad restringe las condiciones de conectividad con los puntos de interés, haciendo más cortas las posibles calles colectoras y obligando la circulación vehicular a través de los puentes Sánchez Figueras, Calixto García y General Lacroix Morlot (Versalles) y San Juan y Guanima en el Viaducto. Estas estructuras funcionan desde el punto de vista de planeamiento del tránsito como cuellos de botella. Igualmente, la bahía con una cota de 0 m constituye una restricción absoluta por la parte noroeste y el valle de Yumurí, antecedido de elevaciones hasta la cota 100 m en menos de 2 km entre ambos.

En la distribución planimétrica, la ciudad de Matanzas, posee también el inconveniente de que la mayor parte de las direcciones de las instituciones administrativas y la red comercial se encuentren en el centro de la ciudad y otros puntos de vital importancia que generan gran atracción y producción de viajes como la Zona Industrial, el Aeropuerto, el Hospital Militar, el Complejo de la Salud, la Escuela Militar, el Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas (IPVCE) Carlos Marx, las dos Sedes de la Universidad de Matanzas, entre otros puntos que se encuentran en las periferias de la ciudad de Matanzas.

Uno de los elementos distintivos de la ciudad de Matanzas es su topografía, que presenta un marcado carácter semiondulado con significativas pendientes de las rasantes de calles en las rutas de recorrido más frecuente, provocando así el encarecimiento de los costos de operación de los vehículos.

Con la construcción de las dos primeras etapas de viaducto con 25 años y 19 años respectivamente de explotación, de conjunto permiten un funcionamiento como una circunvalación interior parcial, disminuyeron los problemas de congestión, contaminación e inseguridad. No obstante, por el incremento de la actividad comercial años tras años, se continúan agudizando los inconvenientes de circulación interna de la ciudad.

Dentro del planeamiento vial de la ciudad se encuentra la construcción del anillo periférico de la ciudad de Matanzas para completar los ejes principales de circulación sin interferencias, que es una obra que tomó fuerza con la construcción de la posible Refinería, y la terminal portuaria para cruceros ambas contenidas en el Plan de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU), pero a juicio de la autora es una obra que necesita la ciudad de Matanzas.

**Accesos o entradas/salidas de la ciudad:** El nivel de acceso a la ciudad de Matanzas en conexión con la red nacional se puede hacer desde diferentes puntos de la geografía matancera. Desde el norte se puede acceder a la urbe yumurina por la Vía Blanca, proveniente de La Habana. Por la Carretera Central se puede acceder a la ciudad desde La Habana por el sur y desde Villa Clara por el suroeste.

Aunque el (PGOTU) de la ((DPPF), 2011) plantea que los principales accesos a la ciudad son:

- Carretera Central por el Este y el Oeste.
- Vía Blanca desde la Habana y hacia Varadero.
- Carretera de la Circunvalación.

**Principales ejes de circulación:** Según el (PGOTU) de la ((DPPF), 2011) los principales ejes de circulación de la ciudad de Matanzas son:

Ejes viales colectores en el sentido Este – Oeste:

- Calles Santa Rita y Santa Cristina en Versalles, desde calle Aranguren hasta Buena Vista en Matanzas a través de las calles Salamanca y Velarde.

- Calle Laborde en Versalles.
- Calles Contreras y Milanés y Río desde calle Ayllón hasta el parque René Fraga.
- Calle San Sebastián, desde el Viaducto hasta el Naranjal y Zona del Complejo de la Salud a través del Callejón de Quintanales.
- Calles San Juan de Dios y Santa Rita en Pueblo Nuevo, desde el Viaducto, hasta el reparto Naranjal.
- Calzada General Betancourt y Calzada de Esteban conjuntamente con la vía propuesta en la franja dejada por el trazado del ferrocarril viejo (desvío de Carretera Central), enlazando desde Estación de Ferrocarril, hasta Peñas Altas y Carretera Central por el Estado Mayor Provincial.
- Calle Pilar y Larga de Escoto, continuándolas hacia Peñas Altas.
- Carretera de Cidra desde Calzada de Esteban, hasta la circunvalación sur.
- Calle San Isidro.

Ejes viales colectores en el Sentido Norte – Sur:

- Calles Vera y Navia en Versalles.
- Calzada de Tirry en Pueblo Nuevo y Calle Ayllón en Matanzas.
- Calzada de San Luís en Pueblo Nuevo y Calle Dos de Mayo y América en Matanzas.
- Calle Buena Vista y Guachinango en Matanzas.
- Carretera de Cidra desde Calzada de Esteban, hasta la circunvalación sur.
- Calle San Isidro.

**Conexión entre accesos y ejes:** Las conexiones entre accesos y ejes resultan complicadas, ya que su vínculo se realiza a través de calles colectoras que no presentan las características geométricas adecuadas porque pertenecen a una infraestructura vial diseñada para un nivel de prestaciones inferiores a las demandas del parque vehicular que se encuentra circulando por nuestras vías (Canito Alfonso,2018). También está el agravante de las características topográficas de la ciudad de Matanzas con significativa variación de pendientes a lo largo de todo el territorio. Los ríos que atraviesan la ciudad

contribuyen a la congestión, al obligar la circulación sobre los puentes que salvan los accidentes geográficos.

**Conexión entre accesos:** La conexión entre los puntos principales de acceso a la ciudad de Matanzas está obligada a establecerse a través de toda la trama urbana, comprometiendo los indicadores de seguridad y tiempo de recorrido.

La Dirección Provincial de Planificación Física plantea que son deficientes los enlaces entre los diferentes barrios urbanos, siendo el más crítico el de Versalles, contando con el único vínculo vehicular a través del puente La Concordia ((DPPF), 2011).

Todo lo plasmado en los epígrafes anteriores demuestra la alta complejidad de las condiciones de conectividad de la ciudad de Matanzas, dando como resultado la necesidad de una ruta directa que complete, a modo de anillo periférico, el vínculo entre los puntos de acceso y ejes principales existentes en la ciudad.

Con el análisis del sistema vial de la ciudad de Matanzas se identificaron los ejes que influyen en la concepción del prediseño del enlace, tomando en cuenta que son las vías que tributan el mayor flujo de vehículos, como se relaciona en la tabla 3.1.

*Tabla 3.1 Ejes que influyen en la solución.*

Sentido N-S	Sentido E-O
Calle Ayllón	Paseo Martí(vialidad secundaria)
San Isidro	Laborde
Viaducto	Paseo Martí-Vía Blanca

*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.2- Resultados del reconocimiento de la faja de emplazamiento.**

Para la ejecución del enlace, se conoce que su punto inicial corresponde a la estación donde finalizó la etapa constructiva anterior, en el río San Juan, y el punto final estará ubicado en la zona de Versalles de la ciudad de Matanzas (figura 3.1). Proyectos anteriores indican las características de la zona del río San Juan, pero al proponer nuevas soluciones para el prediseño se realizó un reconocimiento en cuanto a características

tipológicas, geométricas y de circulación de la infraestructura vial existente en los puntos de interés, para facilitar el análisis, en la zona de Versalles mostrados en la figura 3.2, realizado el 20 de marzo de 2019.



**Figura 3.1** Determinación del área de emplazamiento del nuevo vial para analizar las diferentes variantes de trazado.

*Fuente: elaboración propia.*

Los puntos están definidos con letras mayúsculas se comenzó por la A hasta la E, los cuales están previstos en las soluciones para el prediseño y es imprescindible el conocimiento de sus características, para tener un punto de partida en cuanto a afectaciones, dígase de las obras que deberán ser retiradas o que pierden importancia por el trazado del nuevo vial o las secundarias que se deberán emplazar.

Para la determinación de las características geométricas, de circulación y tipológica de la zona objeto de estudio a partir de la determinación de los puntos de interés, se empleó cintas métricas de 20m, se tomaron como base también planos topográficos y se realizó una inspección organoléptica, a partir de las cuales se evalúan aproximadamente las diversas afectaciones posibles. Los resultados arrojados se muestran en la tabla 3.2.



**Figura 3.2-** Puntos de interés.

*Fuente: elaboración propia.*

El reconocimiento del punto E se tuvo en cuenta para conocer los espacios que presenta la zona en frente del Goicuría, el parqueo del Partido Comunista Municipal, para prediseñar la posible intersección que va a segregar los tráficos. Actualmente la intersección en el punto E es un semáforo intermitente canalizando los vehículos que arriban desde Vía Blanca hacia Varadero, los que tienen como origen en la Zona Industrial y de dirigen hacia Matanzas, Cárdenas o Varadero y se le suma la actividad local, además recoge todo lo que sube por San Isidro hasta la zona de los hospitales Hospital o hacia La Habana.

**Tabla 3.2 (a). Características del punto A.**

Punto de interés objeto de estudio.		A	
Localización		Intersección de la calle Laborde con la calle Riechy	
			
Características geométricas y de circulación:		Características tipológicas:	
Número de carriles	2	Tipo de carretera en cuanto a calzada separadas o no	Sin separador
Ancho de calzada	12,04 m	Vía urbana o rural	urbana
Pendiente media	3,3 %	Características generales:	
Radio de curvatura	12 m	Tiene gran impacto porque en ella se encuentra: El Rápido, Juguera: La Fuente y viviendas. Clasificación funcional: colectora	
Distancia media a obstáculos laterales	0,70 m		
Velocidad de proyecto	50 km/h		
Composición vehicular	Mixta		

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 3.2 (b). Características del punto B.**

Punto de interés objeto de estudio.		B	
Localización		Curva de la calle Riechy	
			
			
Características geométricas y de circulación:		Características tipológicas:	
Número de carriles	2	Tipo de carretera en cuanto a calzada separadas o no	Sin separador
Ancho de calzada	12,10 m	Vía urbana o rural	urbana
Pendiente media	3,3 %	Características generales:	
Radio de curvatura	3,50 m	Tiene gran impacto porque en ella se encuentra: Centro Escolar Mixto: Mártires del Goicuría, Cine Atenas, iglesias y EDESCON (Empresa de Desmonte y Construcción de Matanzas). Clasificación funcional: colectora	
Distancia media a obstáculos laterales	0,75 m		
Velocidad de proyecto	50 km/h		
Composición vehicular	Mixta		

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.2 (c). Características del punto C.**

Punto de interés objeto de estudio.		C	
Localización		Calles Isabel I y San Isidro.	
			
Características geométricas y de circulación:		Características tipológicas:	
Número de carriles	2	Tipo de carretera en cuanto a calzada separadas o no	Sin separador
Ancho de calzada	7,35 m	Vía urbana o rural	urbana
Pendiente media	3,9 %	Características generales:	
Radio de curvatura	-----	Tiene gran impacto porque en ella se encuentra: El Partido municipal y viviendas. Clasificación funcional: colectora	
Distancia media a obstáculos laterales	0,20 m		
Velocidad de proyecto	50 km/h		
Composición vehicular	mixta		

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.2 (d). Características del punto D.**

Punto de interés objeto de estudio.		D	
Localización		Curva entre la calle Laborde y calle San Isidro (esquina de “los baños”).	
			
Características geométricas y de circulación:		Características tipológicas:	
Número de carriles	2	Tipo de carretera en cuanto a calzada separadas o no	Sin separador
Ancho de calzada	7,03 m	Vía urbana o rural	urbana
Pendiente media	0,004 %	Características generales:	
Radio de curvatura	15 m	Tiene gran impacto porque en ella se encuentra: Viviendas y vía del ferrocarril. Clasificación funcional: colectora	
Distancia media a obstáculos laterales	0,65 m		
Velocidad de proyecto	50 km/h		
Composición vehicular	mixta		

**Fuente:** elaboración propia.

### 3.2.1- Evaluación funcional actual de las vías que influyen en la solución.

Actualmente en la ciudad de Matanzas se cuenta para acceder de Matanzas hasta Versalles y viceversa el puente General Lacret Marlot, el cual es un puente centenario receptor de todo el tráfico pesado y ligero, de paso y el generado por la actividad local, lo que causa interferencias por la ocurrencia de cuellos de botella por el estrechamiento de los carriles, además del congestionamiento para acceder al mismo en el nudo de Ayllón, en Matanzas, el cual es el encargado de canalizar los tráficos mediante semáforos y señales verticales y horizontales (Figura 3.3).



**Figura 3.3** Situación del nudo de Ayllón (arriba) y puente La Concordia (abajo).

*Fuente: elaboración propia.*

Los automóviles que circulan por la red vial no poseen las características idóneas en cuanto al funcionamiento de sus partes componentes, debido a su obsolescencia tecnológica. De esta forma, se produce la mezcla en las corrientes vehiculares de automóviles de diferentes configuraciones y velocidades, lo que restringe el rendimiento de los más modernos y veloces, y sobreexplota a los de menores prestaciones, impidiendo la fluidez del desplazamiento. Existe actualmente también interferencias entre el tráfico de paso con el generado por la actividad local, un gran número de vehículos pesados por dentro de la red urbana. Algunas de las redes técnicas como por ejemplo los desagües están en mal estado lo que requiere mantenimiento y limpieza del área.

Existen irregularidades con respecto a las normativas de construcción de viviendas en el área de “Los Bañitos”, al estar las fachadas muy cerca de la faja del ferrocarril, y se extienden los muros de los patios más allá de la parcela violando las leyes urbanísticas (Figura 3.4).



**Figura 3.4** irregularidades en la zona de emplazamiento.

*Fuente: elaboración propia.*

Lo que existe se agravaría si se cumple el PGOTU que cuenta con el desarrollo de una terminal portuaria en la zona del puerto de la ciudad y la culminación del proyecto de la refinería. La conclusión de una vía expedita que conecte el triángulo La Habana-Cárdenas-Varadero con un flujo ininterrumpido y canalizado resolvería en gran parte los problemas de accesibilidad y movilidad de la ciudad completando uno de los ejes principales de circulación de la ciudad.

### **3.3- Análisis de la demanda actual y futura del tráfico.**

Para la determinación de la demanda actual de tráfico se emplearon como datos, los aforos realizados con el fin de entregar los Fundamentos de la etapa III del Viaducto, dicho estudio se realizó en marzo de 2003 (Anexo 6) por el Centro Provincial de Vialidad (CPV), posterior al análisis, se convirtió el PAVDT<sub>2003</sub> expresado en veh/12 horas en

vehículos ligeros aplicando el procedimiento de la NC 583:2012 donde 1 ómnibus= 2 vehículos ligeros y 1 camión= 2,5 vehículos ligeros, y posteriormente se le aplicaron los correspondientes coeficientes de expansión como se muestra en la Tabla 3.3. Este procedimiento se les realizó a las estaciones útiles para dar respuesta al estudio que se encuentran en la Tabla 3.4, el total de los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.5.

**Tabla 3.3** Coeficientes de expansión.

Coeficientes de expansión (marzo de 2003). Tipo de vía expresa.	
De 12 a 24 horas	De mes a año--- 0,941
Día entre semana--- 1,39	
Sábado---1,33	
Domingo---1,39	
Promedio= 1,37	

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.4** Estaciones útiles.

Estaciones útiles	Origen	Destino
Vía Blanca. Entre Bacunayagua y el Rincón Campestre	Bacunayagua-Matanzas (B-M)	Matanzas-Bacunayagua (M-B)
Viaducto Matanzas. Entre el puente San Juan y Calle Covadonga	Versalles –Playa (V-P)	Playa-Versalles (P-V)

**Fuente:** elaboración propia.

Los resultados del procedimiento de las estaciones útiles se muestran en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5 (a)** PAVDT 2003 en vehículos ligeros en 12 horas.

(B-M)	$1328 + (94*2) + (174*2,5)$	1951 veh ligeros
(M-B)	$1008 + (111*2) + (196*2)$	1720 veh ligeros
(V-P)	$4329 + (233*2) + (610*2.5)$	6320 veh ligeros
(P-V)	$3674 + (220*2) + (503*2.5)$	5372 veh ligeros

**Fuete:** elaboración propia

**Tabla 3.5(b) PAVDT 2003 en vehículos ligeros por día.**

(B-M)	1951*1,37*0,941	2516 veh ligeros
(M-B)	1720*1,37*0,941	2218 veh ligeros
(V-P)	6320*1,37*0,941	8148 veh ligeros
(P-V)	5372*1,37*0,941	6926 veh ligeros

**Fuente:** elaboración propia.

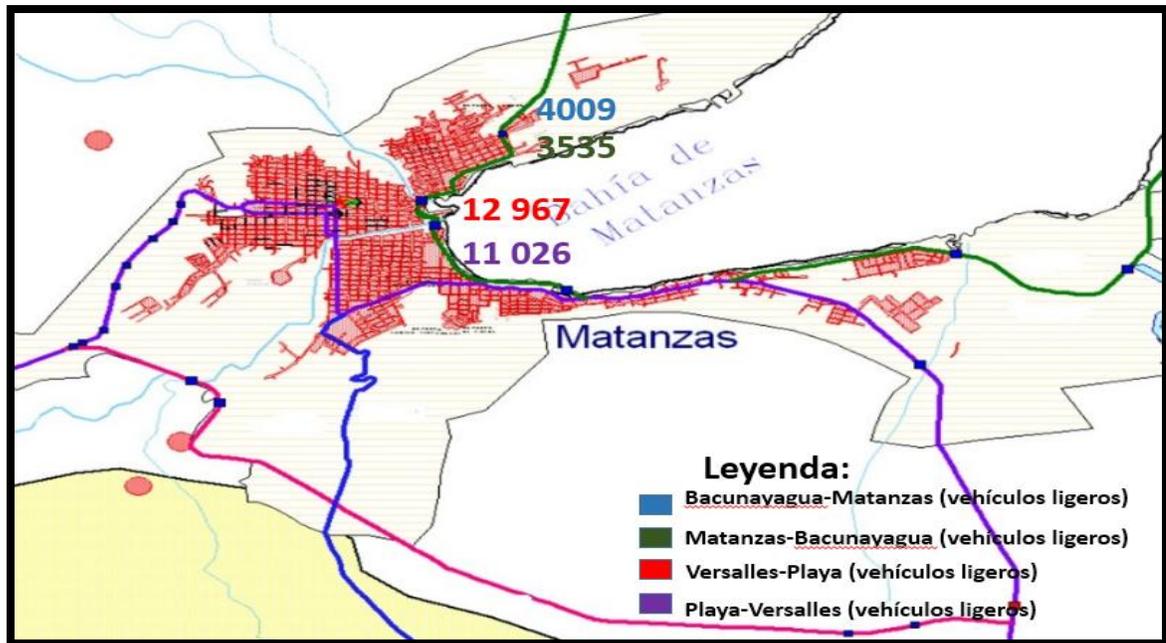
**Tabla 3.5(c) PAVDT 2016 en vehículos ligeros por día a partir de la razón de crecimiento del PIB en Cuba.**

AÑO	g(RAZÓN DE CRECIMIENTO)	B-M	M-B	V-P	P-V
2003	0,038				
2004	0,054	2612	2303	8458	7190
2005	0,118	2754	2428	8915	7579
2006	0,125	3079	2715	9967	8474
2007	0,073	3464	3055	11 213	95 34
2008	0,043	3717	3279	12 032	10 230
2009	0,014	3877	3420	12 550	10 670
2010	0,021	3932	3468	12 726	10 820
2011	0,027	4015	3541	12 994	11 048
2012	-0,031	4124	3637	13 345	11 347
2013	-0,027	3997	3525	12 932	10 996
2014	-0,013	3890	3430	12 583	10 700
2015	0,044	3840	3386	12 420	10 561
2016		4009	3535	12 967	11 026

**Fuente:** elaboración propia.

Los resultados están calculados para el 2016 para poder vincular dicho estudio con el resultado de la investigación del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito (CPIT) en el año 2016 del Nudo de Ayllón (Anexo 7), para establecer una relación entre lo que genera la ciudad y lo que es tráfico de paso, con el objetivo de establecer la posible configuración del tráfico que accederá al nuevo vial, luego se obtendrá para el año de

partida del período de diseño que es el 2019. Se considerada, que es una carretera expresa multicarril para proporcionarle continuidad a la vía.



**Figura 3.5** PAVDT<sub>2016</sub> en las estaciones útiles

*Fuente: elaboración propia*

A partir de la interpretación de los resultados se alega que lo que viene de La Habana representa el 30,9% de lo que pasa por el Viaducto, por lo que el principal generador de tráfico es la propia ciudad. En la Figura 3.6 se representa en porcentos lo genera la ciudad en cuanto a tráfico en la zona de intercambio con el Viaducto.

Del total de vehículos que salen de Versalles el 80,67% va con destino Playa y el 19,27% se queda en Matanzas. El mismo razonamiento se aplicó en el otro sentido de circulación, del total de vehículos que acceden por el Viaducto desde Playa el 18,30% se queda en Matanzas, el 47,12% va para Versalles y desde Pueblo Nuevo accede a Versalles el 34,63%.



**Figura 3.6** flujograma en porcentajes de los tráficos generados por la ciudad en la zona de intercambio con el Viaducto.

*Fuente: elaboración propia.*

Para la construcción de los tráficos de los vehículos que accederán al nuevo vial se enmarcaron varias hipótesis:

Accederá a la solución en el sentido Habana-Matanzas de lo que sale de Versailles lo que continúa por el Viaducto que representa el 80,67% del total.

Accederá a la solución en el sentido Matanzas-Habana el que viene por el Viaducto y sigue hacia Versailles, que representa un 44,9% de lo que viene de Playa más lo que va desde Pueblo Nuevo que representa el 33,03%.

Habana-Matanzas  $12\ 967 * 0,8067 = 10\ 461$  veh/día

Matanzas-Habana  $11\ 026 * 0,4712 = 5196$  veh/día

$11\ 026 * 0,3463 = 3819$  veh/día      Total= 9015 veh/día

Total en ambos sentidos de circulación= 19 476 veh ligeros/día

A partir del dato obtenido se emplea para la determinación del tráfico para el año 2019.

**Tabla 3.6** Determinación de la demanda actual del tráfico.

Años	Variación del PIB	PAVDT
2016	0,5%	$PAVDT_{2017} = 19\ 476 * (1 + 0,005) = 19\ 574 \text{ veh/día}$
2017	1,6%	$PAVDT_{2018} = 19\ 574 * (1 + 0,016) = 19\ 888 \text{ veh/día}$
2018	1,2%	$PAVDT_{2019} = 19\ 888 * (1 + 0,012) = 20\ 127 \text{ veh/día}$

*Fuente: elaboración propia*

Para determinación del PAVDT para el período de diseño con el fin de obtener la sección transversal de la vía se emplean los siguientes datos:

Período de diseño	20 años
Razón de crecimiento	1,8%, según el procedimiento de Martínez Gómez, la autora propone éste al encontrarse la economía cubana en tantos altibajos.
PAVDT <sub>2019</sub>	20 127 veh/día

$$PAVDT_{2039} = 20\ 127 * (1 + 0,018)^{(20-1)} = 28\ 248 \text{ veh ligeros/d}$$

### 3.4- Categoría técnica de la vía.

Como el PAVDT es mayor que 8000 veh/día su clasificación funcional según la NC 853:2012 es que corresponde con una vía expresa tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Categoría técnica de la vía.

Categoría técnica	Intensidad de tránsito (PAVDT) veh/día
1 Vías expresas rurales	Mayor que 8000
2 I	Mayor que 4000 a 8000
3 II	Mayor que 2000 a 4000
4 III	De 750 a 2000
5 IV	Menor que 750
Nota: para vías expresas rurales (ver NC 754)	

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.5- Determinación de los requisitos del diseño.

Al obtener como resultado una vía expresa con un carácter semiurbano, por ser es un anillo circunvalatorio interior que va a asumir una cantidad de vehículo mayor a la de una vía urbana, pero a la vez va a operar con una velocidad característica de este tipo de vía. Una vez determinada la clasificación funcional por la NC 853: 2012, nos remite a la NC 754: 2010 Carreteras. Requisitos para el diseño geométrico de las vías expresas rurales, para determinar las características de la sección transversal de la vía, en correspondencia con los requisitos del diseño.

**Tabla 3.8** Requisitos del diseño.

Requisitos del diseño.	
Tipo de terreno	Llano.
Velocidad de diseño (tabla 3.14)	140 km/h
Ancho del carril (tabla 3.15)	3,75 m
Gálibo vertical (tabla 3.16)	7 m
Ancho del separador central	5m
Bombeo del pavimento (tabla 3.18)	Hormigón hidráulico

**Fuente:** elaboración propia.

El tipo de terreno se considerará llano, porque la rasante no sufrirá cambios en una longitud de 500 m a lo largo del eje de la vía, dentro de la faja de emplazamiento entre el punto más alto y el más bajo de 20m.

**Tabla 3.14** Velocidad de diseño.

Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h)
Llano	140
Ondulado	120
montañoso	100
<b>Nota:</b> en casos excepcionales y previa justificación técnico-económicas las velocidades de diseño de terrenos montañosos se reducirán a 80 km/h	

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.10** Ancho de carril.

Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h)	Anchura de carril (m)
Llano	140	3,75
Ondulado	120	3,75
Montañoso	100	3,50

Nota 1 el número de carriles por cada sentido de circulación es dos.  
Nota 2 para velocidades de diseño menores de 100 km/h la anchura del carril será 3,50m.

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.11** Gálibo vertical.

Pasos superiores sobre	Gálibos en cruce e intercambios (m)
Vía expresa rural y carretera tipo I y II	5
Caminos y carreteras tipo IV y V	4,5
Ferrocarriles	7

Nota 1: los gálibos para pasos inferiores en todos los casos serán de 5,0m  
Nota 2: todos los cruces con ferrocarriles serán a dos niveles.

**Fuente:** elaboración propia.

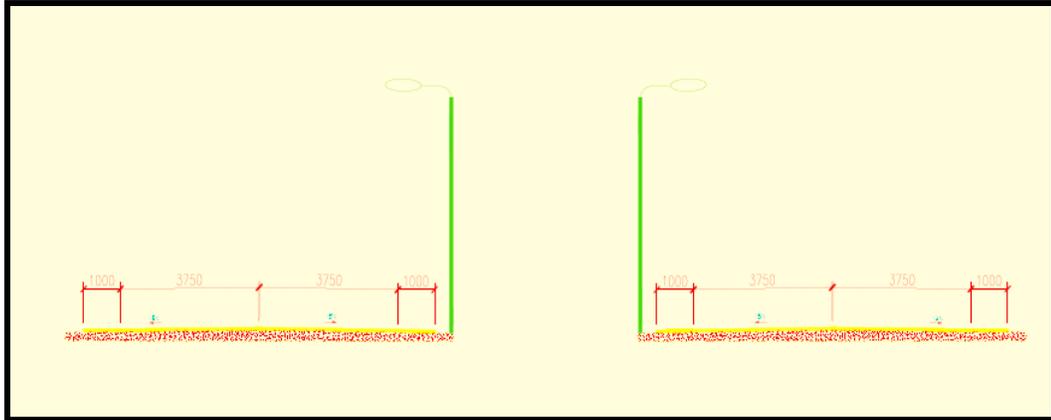
**Tabla 3.12** Ancho del separador central.

Tipo de pavimento	Pendiente transversal (%)	
	Valor permisible	Valor recomendado
Hormigón hidráulico	1,5 a 2,5	1,5
Hormigón bituminoso	1,5 a 2,5	2,5

**Fuente:** elaboración propia.

Según lo establecido por la norma se obtuvo los anteriores valores, para elaborar la sección transversal de la vía se tomaron dichos valores como mínimos a emplear, pero se utilizarán los que tiene la carretera del Viaducto actualmente para lograr una continuidad

del vial, garantizando una estética y confort de la vía como se muestra Figura 3.7, que coincidirá para todas las variantes de trazado.



**Figura 3.7** sección transversal del vial.

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.5.1- Determinación de la capacidad y nivel de servicio, para analizar los resultados obtenidos.

Con los resultados obtenidos se realizó el cálculo de volumen de servicio con la sección transversal resultante, utilizando la norma de capacidad vial (Oficina Nacional de Normalización, 1984). El cálculo de volumen de servicio se realizó para el nivel de servicio "D", ya que representa una circulación de densidad elevada, aunque inestable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

**Tabla 3.13** análisis del volumen para el nivel de servicio D.

$VS_D = 2914 \text{ VEH/H}$	
MVS: Máximo Volumen de Servicio (ver anexo 1)	3 600
w: Factor de corrección que toma en cuenta el ancho del carril y la distancia a obstáculos laterales (ver anexo 2)	0,97

<p>Tl: Factor de corrección que toma en cuenta el por ciento de camiones en la corriente de vehículos.</p> $Tl = 100 / (100 - Pt + Et * Pt)$ <p>Pt- Por ciento de camiones</p> <p>Et- Carros equivalentes de pasajeros para camiones, según se analice la vía en toda su longitud o en una pequeña sección de ella (ver tabla 3 anexo 5).</p>	0,8865
% camiones= 12,8	
<p>B1: Factor de corrección que toma en cuenta el porcentaje de ómnibus en la corriente de vehículos.</p> $Bc = 100 / (100 - Pb + Eb * Pb)$ <p>Pb- porcentaje de ómnibus</p> <p>Eb- Carros equivalentes de pasajeros para ómnibus, según se analice la vía en toda su longitud o en una pequeña sección de ella (ver tabla 3 anexo 5)</p>	0,9412
% ómnibus= 6,25	

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 3.14** determinación del volumen de servicio para cuando esté transitando por el nivel de servicio D.

PAVDT <sub>NSD</sub> = 38 854 VEH/DÍA	
Q- Volumen Horario de Diseño (veh/h).	2 914 veh/h
K- Porcentaje del PAVDT que corresponde a la hora de diseño.	0,12
D- Porcentaje del PAVDT correspondiente al sentido de máxima circulación (Distribución direccional)	1

*Fuente: elaboración propia.*

PAVDT <sub>2039</sub> < PAVDT <sub>NSD</sub>	28 248 VEH/D < 38 854 VEH/D
--	-----------------------------

De esta manera se puede concluir que la capacidad de la vía en el nivel de servicio D donde comienzan los problemas de congestión, pero admite más vehículos que la demanda para el período de diseño, por lo que queda más años de explotación del vial teniendo en cuenta el período de diseño y la sección transversal propuesta.

### 3.6- Análisis y propuesta de las alternativas para la solución del vial en la faja de emplazamiento.

Después de una ardua investigación se logró reunir las posibles variantes de trazado existentes, por lo que se propone analizar cada una de ellas y a partir de las deficiencias encontradas se propondrá un trazado acorde a las necesidades del PGOTU. Actualmente existen dos variantes de trazado, primero la de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas (EMPAI) y por último la variante del Ing. Junior R. Rodríguez Cepero.

#### 3.6.1- Análisis de las propuestas existentes.

El primer trazado existente fue el elaborado por la EMPAI de Matanzas en 1996, el cual va en estructura a partir del río San Juan en el punto de intercambio Muelle Real hasta la intersección con la calle Laborde a la altura de la calle San Isidro con una longitud de 600m (Archivo EMPAI, 1996) y se debería construir un pedraplén hasta la rasante fijada, la cual termina en un puente que une la obra con la Vía Blanca mediante una curva al final del Paseo Martí en el lugar conocido como la curva de la Thelman, el cual incluye afectaciones en el ferrocarril (Figura 3.8). El vial fue diseñado para una velocidad de circulación de 80 km/h, 4 carriles de circulación, ancho de carriles de 3,50m, ancho del separador de 8,0m y una pendiente máxima de 4%.

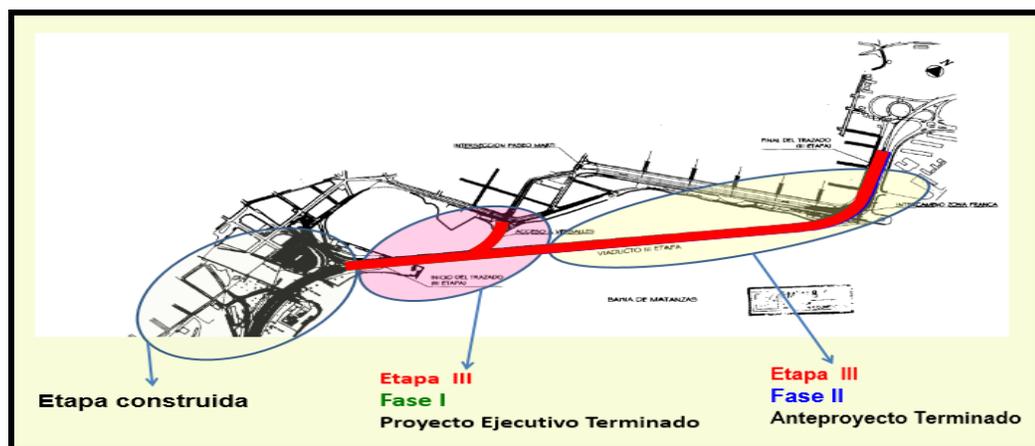


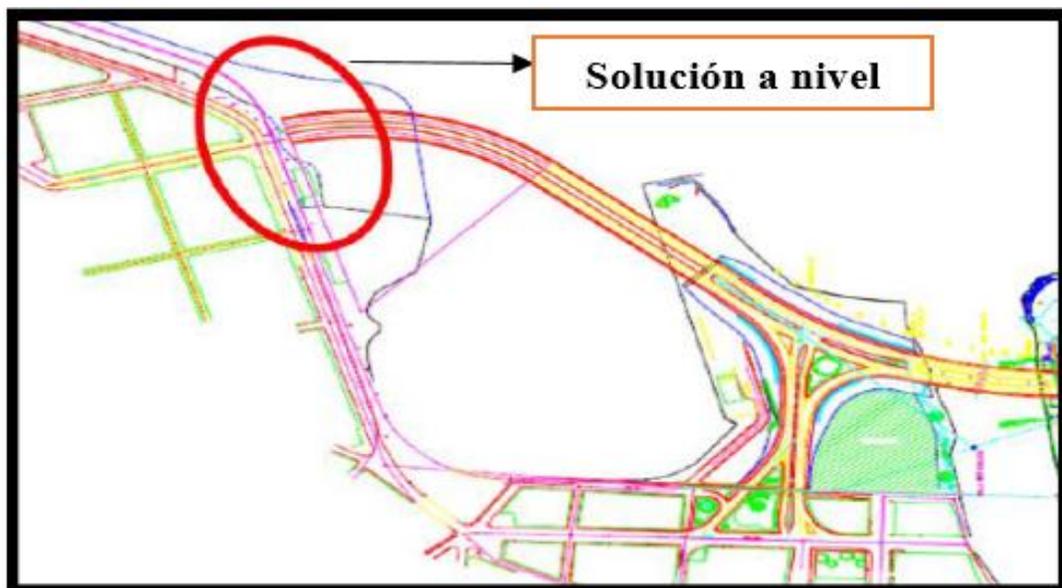
Figura 3.8 Variante de solución EMPAI

Fuente: III fase Viaducto, 2010.

Esta solución fue desechada prácticamente por causas económicas porque presenta dos puentes de tramos largos uno de 600m de San Juan a San Isidro y otro de 180m de longitud hasta la Zona Franca, además incluye varias obras de fábricas y afectaciones al ferrocarril y a las viviendas y la iglesia presbiteriana en las alturas de la calle Riechy, se mezcla una variedad de técnicas constructivas como tramos en corte-relleno, aumentando el precio de la obra. La cimentación también se cuestiona al estar emplazado alejado de la costa que varía su profundidad entre 2,80m y 1,50m, agravado también por la longitud del puente. Primeramente, el proyecto consideraba como secundario el acceso a Versalles y solo se construiría el puente que enlaza la Vía Blanca con Matanzas, quedando inconcuso el acceso a Versalles.

Las soluciones de intercambios se realizan mediante curvas de radio pequeños que dificulta la comodidad del conductor al forzarlo a disminuir la velocidad a 30 km/h en una distancia de 175m antes de llegar a la intersección. Desde el punto de vista de la adecuación a la faja de emplazamiento, el medio ambiente juega un papel importante al estar sometida la bahía a trabajos de relleno para la colocación de la cimentación, está presente también que la longitud y separación del vial de la costa le resta estética a la zona.

La segunda solución existente consiste una intersección a nivel con el ferrocarril La solución de acceso a Versalles consiste en un puente de tres luces de 35m cada una y un aproche en la calle Laborde, cruzando a nivel con el ferrocarril del puerto por la zona de la Juguera (Rodríguez Cepero, 2018). La unión de esta estructura con la estructura del viaducto propiamente dicho se efectúa con una luz de longitud variable de tal forma que se pueda efectuar la transición (Figura 3.9).



**Figura 3.9** Variante de solución Ing. Junior Rodríguez Cepero.

*Fuente: elaboración propia.*

Como solución de la intersección entre el vial principal (Viaducto) y las calles Laborde y Rieche en Versalles se decide que en la dirección Versalles – Matanzas se continúa con dos carriles por la calle Rieche en esa dirección, permitiendo el giro a la derecha, a la izquierda y la continuidad de circulación sobre el vial que se desea proyectar. En la dirección Matanzas – Versalles solamente se permite el giro a la derecha para incorporarse a la calle Laborde, también mediante dos carriles en esa dirección. Para lograr una funcionalidad adecuada en el diseño se debe garantizar que el criterio de giro en la intersección de esta dirección sea permitido para todo tipo de vehículo, incluyendo vehículos pesados (ver Anexo 8).

Como se observa en la figura 3.11 para darle solución a la intersección entre el vial que se desea proyectar y la calle Laborde los vehículos que circulan en dirección hacia Ciudad Habana a través del vial una vez construido, acceden libremente a incorporarse a la Calle Laborde para continuar su tránsito hacia la Habana siguiendo todo el Paseo Martí.

Los precedentes de la Ciudad Capital con destino Matanzas pueden arribar a la ciudad tomando el carril de derecha con acceso libre en la intersección del vial con las calles

Laborde y Rieche y los vehículos que se dirigen hacia Varadero pueden acceder directamente al vial proyectado. De igual forma, los vehículos que necesiten retornar hacia Versailles utilizan el carril de la izquierda con este fin, cediendo el paso siempre a los vehículos procedentes de Matanzas hacia Versailles. El autor de la solución propone una adecuada señalización, como señales lumínicas accionadas por un guardacruceiros desde una caseta y señala la intersección con un semáforo.

Se encontró como principales deficiencias en el trazado, el empleo del semáforo para canalizar el tráfico, por lo que el flujo se verá comprometido en la intersección al convertirse en interrumpido por los tiempos de espera del dispositivo de control, por lo que no cumple con una de las principales funciones de una vía periférica, que es canalizar el tráfico de manera ininterrumpida para minimizar los tiempos de recorridos; además se encontró como otra deficiencia que la norma cubana para intersecciones con ferrocarriles debe hacerse a desnivel y el autor del trazado lo realiza a nivel, los giros se realizan en curvas de radios pequeños de hasta  $90^0$  (ver Anexo 9), dificultando los giros de los usuarios y las velocidades de operación

### **3.6.2- Esquemas generales de las soluciones para el trazado del vial.**

Una vez analizados los datos del tránsito, se procede a confeccionar variantes de soluciones, elaborando esquemas en los cuales se tienen en cuenta, además de las características del tráfico inducido y desarrollado, las características topográficas de la zona, las edificaciones que pudieran limitar el espacio para el desarrollo de los ramales, y las redes técnicas existentes, lo cual permite formular una evaluación preliminar de las afectaciones posibles.

Luego de prediseñar y evaluar varios esquemas con disímiles configuraciones de ramales en cuanto a disposición y demás parámetros geométricos, se seleccionan dos para realizarles un análisis más profundo, en vista a elegir el esquema de solución más eficaz.

- Vial de enlace en el tramo río San Juan-Versalles por las calles Riechy y San Isidro.



**Figura 3.10** Vial de enlace en tramo río San Juan-Versalles por las calles Riechy y San Isidro.

*Fuente: elaboración propia.*

- Vial de enlace en el tramo río San Juan-Versalles con punto de terminación en el Paseo Martí.



**Figura 3.11** Vial de enlace en el tramo río San Juan-Versalles con punto de terminación en el Paseo Martí.

*Fuente: elaboración propia.*

- Vial de enlace del tramo río San Juan-Versalles mediante una curva al final del Paseo Martí en el lugar conocido como la curva de la Thelman (modificación de la Variante EMPAI).



**Figura 3.12** Vial de enlace del tramo río San Juan-Versalles mediante una curva al final del Paseo Martí en el lugar conocido como la curva de la Thelman (modificación de la Variante EMPAI).

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.6.3- Análisis de las alternativas de solución para el trazado del Viaducto Habana-Varadero en el tramo río San Juan-Versalles.

- Vial de enlace en el tramo río San Juan-Versalles con punto de terminación en el Paseo Martí.

Características operacionales: para esta variante, el arranque de la estructura del nuevo tramo del viaducto, se ubica en las inmediaciones del desvío temporal con giro de izquierda desde Varadero, ejecutado como cierre de la segunda fase de la ejecución de esta vía. En este nuevo tramo se disponen de forma paralela los recorridos de los carriles Habana-Varadero y Varadero-Habana, partiendo de una curva de inflexión derecha y transitando sobre el mar hacia una curva de inflexión izquierda, a lo largo de la cual se separan los recorridos, llegando el ramal Varadero-Habana a la intersección de las calles

Laborde y San Isidro, y el ramal Habana-Varadero a la intersección entre las calles Laborde y Riechy.

Ambos puentes presentan curvas circulares simples con un radio de curvatura ( $R_c$ ) de 240m adecuándose a la norma cubana (Anexo 10, Tabla 8). El cruce sobre el ferrocarril será a desnivel con un gálibo vertical libre de 7,20m. La velocidad de diseño será 80 km/h, aunque la velocidad de operación, a lo largo del trazado variará al entrar a la zona urbana se reducirá a una velocidad de marcha de 50 km/h.

Adecuación a la faja de emplazamiento: En el caso del puente de la calle Riechy no toma como continuidad el eje de la vía actual, sino que se desplaza hacia la izquierda hasta el borde de las aceras respetando las distancias mínimas a obstáculos laterales como por este lado de la calle son de servicios, se buscó la manera de alejarse de las viviendas por la acústica, el asolamiento, la contaminación por el humo de los vehículos y el otro ramal si se emplazó sobre el mismo eje de la vía manteniendo la misma sección transversal aunque si produce afectaciones a la salud de los habitantes de la zona.

Economía: el factor económico principal de este trazado es que presentan dos tramos cortos una en las alturas de la calle Riechy y el otro en San Isidro con una longitud de 598,22m y 673,79m respectivamente, la cimentación de la estructura hasta llegar al ferrocarril se deberá estudiar por las variaciones del lecho marino sin embargo va a ser menos costosa que la variante de la EMPAI, (1996). También existen estudios precedentes del trazado de puentes curvos (Domínguez Montenegro, 2018), y en dicho estudio se plantea que los elementos que componen a estas estructuras curvas son prefabricados, lo que disminuiría el tiempo de ejecución de la obra y más control de la calidad en la planta.

- Vial de enlace en el tramo río San Juan-Versalles con punto de terminación en el Paseo Martí.

Características operacionales: Para esta variante, el arranque de la estructura del nuevo tramo del viaducto, se ubica en las inmediaciones del desvío temporal con giro de izquierda desde Varadero, ejecutado como cierre de la segunda fase de la ejecución de

esta vía, igual que la anterior son dos puentes separados a 2,00m. igualmente un puente va en el sentido Habana-Varadero y otro en el sentido Varadero-Habana. Tiene una longitud en el perfil de 1097,76m.

Adecuación a la faja de emplazamiento: es un trazado que se adecua muy bien a la zona de emplazamiento porque es una estructura transparente, que extrae todo el tráfico de paso de la infraestructura urbana existente, pero entre la cota sobre el nivel medio del mar entre el ferrocarril y la del Paseo Martí en la estación final del vial es de aproximadamente 3,00m, la cual fue extraída del plano Matanzas 2000, el cual contiene el levantamiento topográfico de la ciudad. Esta situación no permitiría el paso de una estructura por encima del ferrocarril porque el gálibo vertical mínimo es de 7m por lo que no eficaz construir una estructura que interfiera con el paso del ferrocarril.

- Vial de enlace del tramo río San Juan-Versalles mediante una curva al final del Paseo Martí en el lugar conocido como la curva de la Thelman (modificación de la Variante EMPAI).

Características operacionales: para esta variante, el arranque de la estructura del nuevo tramo del viaducto, se ubica en las inmediaciones del desvío temporal con giro de izquierda desde Varadero, ejecutado como cierre de la segunda fase de la ejecución de esta vía. En este nuevo tramo se disponen de forma paralela los recorridos de los carriles Habana-Varadero y Varadero-Habana. Lo componen dos puentes separados a 2,00m dispuestos a lo largo del trazado paralelamente, con la misma sección transversal antes definida. El punto final del trazado se coloca en la Vía Blanca en el lugar conocido como la curva de la Thelman. Además, se tendrá en cuenta la ejecución de obras de fábricas a lo largo del trazado.

Adecuación a la faja de emplazamiento: es un trazado que se adecua muy bien a la zona de emplazamiento porque es una estructura transparente, que extrae todo el tráfico de paso de la infraestructura urbana existente, además este trazado está construido sobre un sostén de tierra y se le incorporará escolleras de protección que además servirá de protección al ferrocarril.

Economía: el factor económico de esta solución está afectado debido a la preparación del sostén de tierra debido a las técnicas de corte-relleno para preparar el fondo marino. La longitud del tramo en el perfil que es mayor que la solución anterior, además se tendría que reestructurar el intercambio en Vía Blanca para mejorar las capacidades de maniobrabilidad de los conductores, como por ejemplo rellenar en la curva de la Thelman para mejorar el radio de curvatura en ese punto.

### **3.6.4- Resultados del análisis de las variantes para el trazado del viaducto Habana-Varadero en el tramo río San Juan-Versalles.**

Una vez evaluadas las características de las variantes a analizar, basado en las fortalezas y debilidades de cada esquema, y en la experiencia internacional de nudos de configuración similar al estudiado, la autora elige el trazado que tiene como solución la intersección con las calles Riechy y San Isidro como solución más eficaz en términos de funcionalidad, por cuanto el confort y seguridad brindados a los usuarios, así como su adecuación al espacio disponible, pudieran, entre otros elementos, facilitar su ejecución. La solución elegida corresponde al modelo de ramales independientes, en el cual brinda grandes posibilidades de maniobrabilidad a las corrientes vehiculares, al evitar el entrecruzamiento a nivel con el ferrocarril, logrando un tráfico ininterrumpido que favorecería a la ciudad notablemente.

El puente que va de La Habana hasta Matanzas tiene las siguientes características:

$$R_c = 240\text{m}$$

$$P_C = 23 + 1,05$$

$$P_I = 35 + 0,00$$

$$\Delta = 59^\circ$$

$$G_c = 4^\circ 46' 30''$$

$$D_c = 24 + 7,14$$

$$PT= 47+ 8,19$$

La longitud de espiral recomendable (distancia para desarrollar la superelevación) es de 77m, para poder logra una distancia de visibilidad óptima.

El tramo tiene como estación final 59+ 8,22 a 20m del Cine Atenas, es decir la longitud en el perfil es de 598,22 m.

El puente que va de Matanzas hasta La Habana tiene las siguientes características:

$$Rc= 240m$$

$$PC= 28+ 3,34$$

$$PI= 42+ 0,00$$

$$\Delta= 64^{\circ}$$

$$Gc= 4^{\circ}46'30''$$

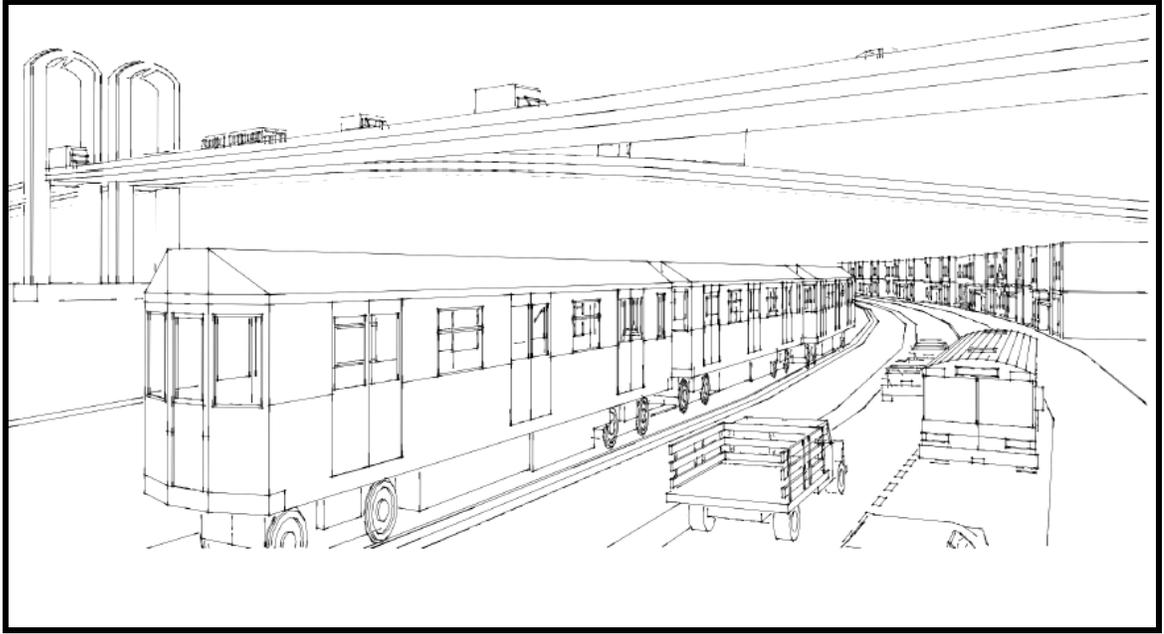
$$Dc= 26+ 8,06$$

$$PT= 55+ 1,40$$

La estación final de tramo está en 67+ 3,79.

El puente tiene en perfil una longitud de 673,79m.

El tramo tiene una pendiente de 5% por la diferencia de cota del tramo que pasa por encima del ferrocarril hasta la estación final del tramo y la norma cubana indica que la pendiente máxima para una velocidad de operación de 80km/h es de 6% (Anexo 11), lo que indica que, aunque se trabajen con los valores mínimos indicados por la norma cubana se cumple con los parámetros del diseño geométrico para un trazado directo. Para el drenaje del trazado se utilizarán los que ya existen, que necesitan mantenimiento. El espacio debajo de los puentes se puede reajustar para zonas de parqueos.



En la Figura 3.13 se muestra una vista tridimensional del viaducto Habana-Varadero en el tramo río San Juan-Versalles.

*Fuente: elaboración propia.*

## CONCLUSIONES

1. El análisis de la documentación técnica permitió corroborar que las carreteras como anillos periféricos constituyen una solución vial que proporciona mejoras a los atributos de las ciudades y su entorno, también que el desarrollo vial de la ciudad está en sintonía con el PGOTU como parte del planeamiento vial.
2. El marco legal regulatorio y normativo cubano contempla los elementos necesarios a tener en cuenta para el diseño y dimensionamiento de ramales de carreteras dispuestos sobre estructuras, lo que permite predimensionar la Solución Conceptual del viaducto Habana-Varadero en el tramo Río San Juan-Versalles.
3. El (PGOTU) de la ciudad de Matanzas presenta insuficiencias en los resultados de las investigaciones del completamiento de los ejes principales de la ciudad tanto en el sentido Norte-Sur como el Este-Oeste, al omitir estudios pertinentes y necesarios.
4. El esquema general de la Solución Conceptual del viaducto como anillo periférico interno de la ciudad de Matanzas da respuesta a la demanda de tráfico que puede llegar a generarse con el desarrollo de la ciudad, garantizando la seguridad y confort en el sistema de vías de la ciudad, en el período de diseño.
5. Las soluciones del prediseño para la conexión entre el río San Juan y Versalles resultantes se adecuan a la intensidad y composición del tráfico que circula por sus accesos, teniendo en cuenta la distribución zonal dentro de la ciudad por los viajes de origen-destino, su crecimiento progresivo, el desarrollo previsto e impacto sobre el funcionamiento del vial en cuanto a oferta y demanda vial.

## RECOMENDACIONES

1. A la entidad correspondiente que se desarrolle las fases de Ingeniería Básica para el proyecto de Fase III Viaducto (Río San Juan-Versalles).
2. A la entidad inversionista comenzar nuevamente las investigaciones ingeniero-geológicas porque la investigación que se realizó fue hace muchos años y el lecho marino puede cambiar, además de los estudios correspondientes para el conocimiento de la topografía local.
3. A los aparatos inversionistas que revisen las variantes elaboradas como elemento a tener en cuenta para un diseño definitivo.
4. Al Departamento de Construcciones continuar con la realización de nuevas investigaciones para completar el proyecto del anillo periférico de la ciudad de Matanzas y a la Dirección Provincial de Planificación Física colaborar con la Universidad de Matanzas con dichos fines debido a la importancia que representa para la ciudad para con los resultados de los estudios mejorar el PGOTU.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 2010. *Fundamentos III etapa Viaducto*.
2. 2011. *Período de diseño de pavimentos*. <http://www.ingenierocivilinfo.com>.
3. (AASHTO), A. A. O. S. H. A. T. O. 2011. *A Policy on Geometric Desing of Highways and Streets*.
4. (DPPF), D. P. D. P. F. 2011. *Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) de Matanzas*.
5. AGOSTA, R. & PAPA ZIAN, A. 2006. *Diseño Geométrico de la Infraestructura de Transporte Terrestre*.
6. AGUDELO OSPINA, J. J. 2002. *Diseño Geométrico de vías. Ajustado al Manual Colombiano*.
7. ANAYA PERLA, G. M., PALACIOS ESCOBAR, A. R. & ROMERO REINA, I. 2004. *Conflictos entre el gobierno central contra la autonomía municipal por la construcción del tramo del anillo periférico en el municipio de Soyapango*.
8. ARENCIBIA FUNDORA, A. 2016. *Propuesta de solución vial a desnivel en la intersección de Peñas Altas*.
9. AUNTA PEÑA, A. M. 2014. *Análisis territorial y dinámicas regionales en el noroccidente de Caldas a partir de la conectividad, las centralidades y las capacidades municipales*
10. ÁVILA SÁNCHEZ, H. 2009. *Periurbanización y espacios rurales en la periferia de las ciudades*.
11. BATISTA HERNÁNDEZ, H. J. 2010. *Estudio del trazado vial para un anillo periférico norte a la Ciudad de Matanzas*.
12. BAZAN, J. 2008. *Proceso de expansión y consolidación urbana de bajos ingresos en las periferias*. *Revista Bitácora Urbano Territorial*.
13. BOTTINO BERNARDI, R. 2009. *La ciudad y la urbanización. Estudios históricos*.
14. BUCHANAN, C. D. 1973. *El tráfico en las ciudades*.
15. CAL Y MAYOR REYES SPÍNDOLA, R. & CÁRDENAS GRISALES, J. 2010. *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones*.

16. CANITO ALFONSO, J. A. 2018. *Solución conceptual de vial enlace Vía Blanca-Carretera Central*.
17. CONSEJO DE MINISTROS 2015. Reglamento del Proceso Inversionista.
18. CORREA ABRIL, D. A. P. T., JHON ANDERSON. 2015. “Propuesta de diseño geométrico de una autopista a segundo nivel para Bogotá tramo II, sobre el corredor de la calle 26, Avenida Circular con calle 20 hasta la calle 13 desde la Avenida Boyacá”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
19. DIRECCIÓN GENERAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO 2005. *Manual de Diseño Geométrico de Vialidades*.
20. DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS 2016. *Manual de proyecto geométrico de carreteras*.
21. DOMÍNGEZ MONTENEGRO, R. 2018. “Conceptualización geométrica de la superestructura de un puente curvo con sección cajón prefabricado”. Universidad de Matanzas.
22. EMPAI, A. 1996. *Bases técnicas del proyecto Viaducto III etapa*.
23. ESPINEL FEBLES, M. C. 1994. *El lenguaje de los grafos en los problemas de redes de comunicación*.
24. ESQUIVEL FERNÁNDEZ, W. 2011. *Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas*.
25. FERNÁNDEZ TABIO, L. R. 2018. *El Producto Interno Bruto (PIB): ¿Qué debemos saber? CUBADEBATE*.
26. FIGUEREDO REINALDO, O. R. C., JOSÉ 2018. *Economía cubana: Balance de 2018 y perspectivas para el futuro inmediato. CUBADEBATE*.
27. GARCÍA GARCÍA, A. C. H. R., JHONNATAN RICARDO. 2018. “Propuesta de diseño geométrico vial de una intersección en la avenida ciudad de Cali con calle 72, Bogotá”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
28. GÓMEZ DÍAZ, J. 2015. *Puentes. Parte I*.
29. GONZÁLES CAMARGO, L. A. R. P., MARÍA CAROLINA 2018. *Comparación de impactos ambientales entre las alternativas de corte - relleno y viaducto, para la construcción de carreteras: revisión de un caso de estudio. Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*.

30. GONZÁLEZ GARCÍA, C. 2017. *Procedimiento para la planificación y control de flujos vehiculares en la Zona Priorizada para la Conservación del Centro Histórico de la Ciudad de Matanzas.*
31. GONZÁLEZ LAXE, F. 2011. *LA ACCESIBILIDAD Y CONECTIVIDAD PORTUARIA. BOLETÍN ECONÓMICO DE ICE.*
32. GUTIÉRREZ, A. 2010. *MOVILIDAD, TRANSPORTE Y ACCESO: UNA RENOVACIÓN APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Scripta Nova, XIV.*
33. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA 2008. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.*
34. JARA, M. C., JUAN ANTONIO 2010. *Indicadores de Inclusión Social, Accesibilidad y Movilidad: Experiencias desde la Perspectiva del Sistema de Transporte. INGENIERÍA DE TRANSPORTE, 14.*
35. LANDON C., P. 2013. *Movilidad cotidiana y exclusión social: anverso y reverso de la instalación de la autopista acceso sur en la periferia pobre de la metrópolis de Santiago de Chile.*
36. LORÍA SALAZAR, L. G., MATAMOROS KIKUT, I. & ALPÍZAR GUTIÉRREZ, D. 2011. *Planificación del Transporte. Pitra, Vol 2. N° 19.*
37. MALDONADO, M. O. H., MARCELO; GALARRAGA, JORGE 2012. *Modelación de operación en carreteras argentinas y recomendaciones de ajustes al Manual de Capacidad HCM 2010.*
38. MAPFRE, A. E. D. L. C. Y. Á. D. P. Y. S. V. D. F. 2015. *Contribución de la carretera a la mejora de la seguridad vial en España.*
39. MARTÍNEZ GÓMEZ, A. 2000. *Análisis económico, costo - beneficio, para estudios y proyectos de carreteras. In: CENTRO NACIONAL DE VIALIDAD, M. (ed.).*
40. MENDEZ-CUESTA GONZÁLEZ, M. A. I. M. 2012. *ESTUDIOS DE PAISAJISMO VIAL.*
41. MONTES LIRA, P. F. 2001. *El ordenamiento territorial como opción de políticas urbanas y regionales en América Latina y el Caribe. Publicación de las Naciones Unidas.*

42. NÁRDIZ, C. 2008. *Las nuevas infraestructuras y el paisaje. Problemas y criterios de proyecto.*
43. NOGUÉS LINARES, S. S. O., HENAR 2008. *LA MEDICIÓN DEL IMPACTO TERRITORIAL DE LAS CARRETERAS EN ÁREAS PERIFÉRICAS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LOS USOS DEL SUELO.*
44. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 1984. NC 53 - 118 *Vías con flujo ininterrumpido. Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio.*
45. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 1987. NC 53.080.1987 *Vías urbanas.*
46. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2010. NC 753.2010 *Carreteras. Vías rurales. Clasificación funcional.*
47. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2012. NC 853: 2012 *Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo.*
48. PEREYRA, G., VALIENTE, M. B., LUNA, M. & VÁSQUEZ, M. J. 2014. *Internal connectivity of department Chimbas (San Juan). Analysis of public transport passenger. Contribuciones Científicas, Vol. 26.*
49. PIAD ALDAZÁBAL, D. R. 2011. *Evaluación de Circunvalante Norte de la Ciudad de Matanzas.*
50. RADELAT EGÜES, G. 1964. *Manual de Ingeniería de Tránsito.*
51. RAMOS, G. C., JOAN R.; APARICIO, ÁNGEL C. 2017. *TRANSPORTES ESPECIALES. SISTEMAS DE GESTIÓN DE UNA RED DE PUENTES. SECOND INTERNATIONAL BRIDGES CONGRESS-CHILE 2017.*
52. RODRÍGUEZ CEPERO, J. R. 2018. *Propuesta de solución constructiva para la continuidad y finalización del viaducto de Matanzas.*
53. RODRÍGUEZ MATEO, J. C. *PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y URBANISMO. PASADO, PRESENTE Y FUTURO DEL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO.*
54. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J. C. 2016. *Propuesta de solución a nivel tipo rotonda de la intersección vial Peñas Altas*
55. ROMO MARTÍN, J. *El proyecto de puentes y viaductos y su integración paisajística. F H E C O R . Ingenieros Consultores.*

56. SANTOS PEREZ, O. 2016. *Solución Conceptual de Intersección a Desnivel Semidireccional en el Nudio de Entrada a Varadero.*
57. SANTOS PÉREZ, O. M. L., MAYLÍN; MORCIEGO ESQUIVEL, HOMERO; HASSAN MARRERO, NADIMA; DELGADO RODRÍGUEZ, DAVID 2018. *Diagnóstico del alineamiento estratégico entre el proceso de gestión integrada de accesibilidad y movilidad urbana y la estrategia de las entidades implicadas. Aplicación en la Ciudad de Matanzas.*
58. SANZ, A. 1997. *Movilidad y accesibilidad: un escollo para la sostenibilidad urbana.*
59. SCHELOTTO, S. 2004. *Sexto Seminario Montevideo denominado «Accesibilidad: centro/s y periferia/s en el Montevideo Metropolitano».*
60. SUÁREZ JOYA, H. N. P. S., CARLOS ANDRES. 2005. *Prediseño Geométrico a nivel y a desnivel de la intersección el Jazmín.*
61. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD 2010. *Highway Capacity Manual.*
62. UNALATA LASLUIA, D. J. 2015. *Las condiciones de la vía de ingreso a las comunidades de Cuatro Esquinas, San Juan, San Ignacio, Unión y Trabajo y San Diego de la Parroquia Mulatillo, Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi (Tramo II) y su incidencia en el desarrollo socioeconómico de los habitantes.*
63. VACCARO RIVERA, L. M. 2011. *Análisis de la accesibilidad desde la perspectiva de la movilidad.*
64. VÍAS), I. I. N. D. 1998.
65. WESKOTT, A. 2015. *Manual de diseño de calles para las ciudades bolivianas.*
66. WISKOTT, A. 2015. *Manual de DISEÑO de calles para las ciudades BOLIVIANAS.*

## ANEXOS:

Anexo 1:

*Tabla 2.2. nivel y volúmenes máximos de servicio en carreteras de múltiples carriles para flujo ininterrumpido.*

Tabla 6 NIVELES Y VOLÚMENES MÁXIMOS DE SERVICIO EN CARRETERAS DE MÚLTIPLES CARRILES PARA FLUJO ININTERRUMPIDO								
NIVEL DE SERVICIO	Condiciones del flujo del tránsito		Relación V/C (Volumen de servicio/capacidad real)			Máximo volumen de servicio para condiciones ideales, velocidad de diseño* de 112 km/h (Veh. por hora)		
	Descripción	Velocidad de operación km/h	Veloc. de diseño* 112 km/h	Valores de trabajo para una velocidad de diseño* restringida		Carret. de cuatro carriles (2 carriles un sentido)	Carret. de ocho carriles (3 carriles un sentido)	Por cada carril adicional
				96 km/h	80 km/h			
A	Flujo libre	≥96	≤0,30	a	a	1 200	1 000	600
B	Flujo estable (alta velocidad)	≥80	≤0,50	≤0,20	a	2 000	3 000	1 000
C	Flujo estable	≥64	≤0,75	≤0,50	≤0,25	3 000	4 500	1 500
D	Se aproxima al flujo inestable	≥56	≤0,90	≤0,85	≤0,70	3 600	5 400	1 800
E	Flujo inestable	Aproxim. 48		≤1,00		4 000	6 000	2 000
F	Flujo forzado	Aproxim. <48	No tiene sentido o significado				Muy variable	

a - La velocidad de operación requerida para estos niveles no se pueden alcanzar, aún para bajos volúmenes.  
 \* - Velocidad promedio de diseño.

*Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 1984)*

Anexo 2:

Tabla 2.3. Efecto combinado de anchura de carril y distancia a obstáculos laterales sobre la capacidad real y volúmenes de servicio en carreteras de múltiples carriles para flujo ininterrumpido.

**Tabla 7 EFECTO COMBINADO DE ANCHURA DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULO LATERAL SOBRE LA CAPACIDAD REAL Y VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE MULTIPLES CARRILES PARA FLUJO ININTERRUMPIDO**

Distancia desde el borde del pavimento a la obstrucción (m)	Factor de ajuste para anchura de carril y distancia A OBSTACULO LATERAL							
	Anchura Carril 3,6 m	Anchura Carril 3,3 m	Anchura Carril 3,0 m	Anchura Carril 2,7 m	Anchura Carril 3,6 m	Anchura Carril 3,3 m	Anchura Carril 3,0 m	Anchura Carril 2,7 m
<b>a) Carretera de cuatro carriles no divididas en un sentido</b>								
1,8	1,00	0,95	0,89	0,77	NA	NA	NA	NA
1,20	0,98	0,94	0,68	0,76	NA	NA	NA	NA
0,6	0,95	0,92	0,86	0,75	0,94	0,91	0,86	NA
0	0,88	0,85	0,80	0,70	0,81	0,79	0,74	0,66
<b>b) Carretera de seis carriles no divididas en un sentido</b>								
1,8	1,00	0,95	0,89	0,77	NA	NA	NA	NA
1,2	0,99	0,94	0,88	0,76	NA	NA	NA	NA
0,6	0,97	0,93	0,86	0,75	0,96	0,92	0,85	NA
0	0,94	0,90	0,83	0,72	0,91	0,87	0,81	0,70

N.A. No aplicable, usar el factor de ajuste para el lado derecho

- 1 Toma en cuenta los efectos del tránsito opuesto
- 2 Aprobada para usar solamente en carretera de cuatro carriles, no divididas, que temporalmente son divididas en dos vías, por obstrucciones tales como puentes, barreras, separadores, elementos estructurales, y otros.

Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 1984)

Anexo 3:

Tabla 2.4. Carros equivalentes de pasajeros para camiones y ómnibus en carreteras de múltiples carriles sobre una sección de longitud considerable.

**Tabla 8 CARROS EQUIVALENTES PROMEDIO DE PASAJEROS PARA CAMIONES Y OMNIBUS EN CARRETERAS DE MULTIPLES CARRILES SOBRE UNA SECCION DE LONGITUD CONSIDERABLE. (Incluye pendientes, rampas y secciones a nivel).**

NIVEL DE SERVICIO		EQUIVALENCIA E Para		
		Terreno a Nivel	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso
A		Variable, uno o más camiones tienen el mismo efecto (no existen equivalencias)		
Desde el B hasta el E	E <sub>c</sub> para camiones	2	4	8
	E <sub>b</sub> para ómnibus <sup>1</sup>	1,6	3	5

1 - Usar solamente cuando los volúmenes de ómnibus sean  $\geq 3\%$

Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 1984)

Anexo 4:

Tabla. 2.5. carros equivalentes de pasajeros para camiones en carreteras de múltiples carriles para subsecciones individuales con pendientes.

Tabla 9 CARROS EQUIVALENTES DE PASAJEROS PARA CAMIONES EN CARRETERAS DE MÚLTIPLES CARRILES PARA SUBSECCIONES INDIVIDUALES CON PENDIENTES											
Pendiente %	Longitud de pendiente	CARROS EQUIVALENTES DE PASAJEROS $P_c$									
		Del Nivel de Servicio A al C					Niveles de Servicio D y E				
		Camiones					Camiones				
		3%	5%	10%	15%	≥20%	3%	5%	10%	15%	≥20%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0 a 1	Todos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0,4 a	5	4	4	3	3	5	4	4	3	3
	0,8 a	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4
	1,2 a	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	1,6 a	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	2,4 a	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
	3,2 a	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
3	0,4	10	8	5	4	3	10	8	5	4	3
	0,8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4
	1,2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5
	1,6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6
	2,4	10	9	7	7	7	10	9	7	7	7
	3,2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8
	4,8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6,4	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11
4	0,4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	0,8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	1,2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	1,6	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
	2,4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	3,2	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
	4,8	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
	6,4	12	13	15	15	14	13	14	16	16	15
5	0,4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0,8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7
6	1,2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8
	1,6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10
	2,4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13
	3,2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15
	4,8	13	15	16	16	16	14	17	17	17	17
	6,4	13	17	19	19	17	16	19	22	21	19
7	0,4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3
	0,8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8
	1,2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10
	1,6	14	13	12	12	12	15	14	13	13	11
	2,4	14	14	14	14	14	15	16	14	15	14
	3,2	14	15	16	16	16	15	18	18	18	16
	4,8	14	16	18	18	18	15	20	20	20	19
	6,4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23

Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 1984)

Anexo 5:

Tabla 2.6. carros equivalentes para ómnibus interprovinciales en carreteras de múltiples carriles para subsecciones individuales con pendientes.

**Tabla 10 CARROS EQUIVALENTES DE PASAJEROS PARA OMNIBUS INTER-PROVINCIALES EN CARRETERAS DE MULTIPLES CARRILES PARA SUBSECCIONES INDIVIDUALES CON PENDIENTES**

CARROS INDIVIDUALES DE PASAJEROS $E_b$		
PENDIENTE <sup>1</sup> $\%$	Niveles de Servicios desde el A hasta el C	Nivel de Servicio D y E
0 a 4	1,6	1,6
5 <sup>2</sup>	4	2
6 <sup>2</sup>	7	4
7 <sup>2</sup>	12	10

1 - Para todas las longitudes  
2 - Uso generalmente restringido para pendientes de 800 m de longitud o mayor

Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 1984)

Tabla 3 Carros equivalentes promedio de pasajeros para camiones y ómnibus en carreteras de dos carriles.

**Tabla 3 CARROS EQUIVALENTES PROMEDIO DE PASAJEROS PARA CAMIONES Y OMNIBUS EN CARRETERAS DE DOS CARRILES SOBRE UNA SECCION DE LONGITUD CONSIDERABLE. (Incluye pendientes, raspa y secciones a nivel).**

EQUIVALENTE	NIVEL DE SERVICIO	EQUIVALENTE PARA		
		Terreno Llano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso
$E_c$ para camiones	A	1	4	7
	B y C	2,5	5	10
	D y E	2	5	12
$E_b$ para ómnibus <sup>1</sup>	Todos los niveles	2	4	6

1 - Usar solamente cuando los volúmenes de ómnibus sean  $\geq 20$

Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 1984)



Ayllón y Milanés		
Ayllón desde Contreras	Derecha hacia Milanés	2271 veh/12 horas
	Recto	-
	Izquierda Viaducto	3750 veh/12 horas
Ayllón desde Pueblo Nuevo	derecha	-
	Recto hacia La Habana	4472 veh/12 horas
	Izquierda hacia Milanés	367 veh/12 horas
Viaducto	Derecha	-
	Recto hacia Milanés	874 veh/12 horas
	Izquierda	-



Figura: Flujograma del nudo de Ayllón

*Fuente: elaboración propia.*

Sale de Versalles	Derecha hacia Contreras	1334	19,27%
	Recto Milanés	5568	80,67%
		Total 6902	
Por el Viaducto para Versalles	Recto Milanés más recto Contreras	2519	18,3%
	Lo que viene de Pueblo Nuevo menos	6501-1723= 4778	47,2%

	lo que coge izquierda por Contreras		
	Lo que coge izquierda Viaducto para La Habana	6501	34,63%
		Total 13 798	

*Fuente: elaboración propia*

Anexo 8. Intersección en la calle Laborde



Anexo 9 – curva de la intersección con el ferrocarril con un ángulo de 90°.



*Fuente: Rodríguez Cepero, 2018*

Anexo 10- radios mínimos en dependencia de la velocidad de diseño-

**Tabla 8**

Radios mínimos de las curvas en planta (m)	Velocidad de diseño (km/h)			
	80	100	120	140
Radio mínimo absoluto (RHm)	240	425	665	1 000
Radio mínimo normal (RHN)	425	665	1 000	1 400
Radio mínimo sin superelevación (RH)	2 000	3 000	4 000	5 000
<p>NOTA 1: El radio mínimo absoluto es el valor límite para la velocidad de diseño seleccionada por lo que se utilizarán en casos excepcionales, o sea, cuando cualquier otra solución sea prácticamente imposible.</p> <p>NOTA 2: El radio mínimo normal es el valor límite de radio o grado de curvatura para la velocidad de diseño seleccionada. Su uso no será sistemático, se recomienda adoptar con la topografía de la zona.</p> <p>NOTA 3: El radio mínimo sin superelevación es el valor límite de radio o grado de curvatura para el que se mantienen las características de la sección transversal típica en recta.</p>				

*Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 2010.*

- Anexo 9- Pendiente máxima en %.

**Anexo B**  
(Normativo)

**Tabla B1 — Resumen de características geométricas**

Tipo de relleno	Llano	Ondulado	Montañoso	
Faja de emplazamiento	60,00	60,00	60,00	60,00
Velocidad de diseño(km/h)	140	120	100	80
Máximo volumen de servicio para 2 carriles en una dirección (vehículos ligeros por hora)	2 000	2 000	1 600	1 400
Idem por carril adicional	1 500	1 500	800	700
Ancho de carril (m)	3,75	3,75	3,50	3,50
Ancho de paseo (m) izquierda derecha	3,00	3,00	3,00	3,00
Ancho del separador (m)	5,00	5,00	3,00	3,00
Ancho de bernas laterales al paseo (m)	0,50	0,50	0,50	0,50
Distancia segura de frenado (m)	345	295	210	140
Distancia de anticipación (m)	1 000	800	600	400
Rampa máxima (%)	3	4	5	6
Pendiente máxima (%)	5	6	6	6
Cima	280	210	105	50

*Fuente: Oficina Nacional de Normalización, 2010.*

