



*Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas*

SOLUCIÓN CONCEPTUAL VIAL DE ENLACE VÍA BLANCA – CARRETERA CENTRAL

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil

Autor: Julio Abel Canito Alfonso

Tutores: Ing. Homero Morciego Esquivel

Ing. Orlando Santos Pérez

Matanzas, 2018

PENSAMIENTO



Yo vengo de todas partes

Y hacia todas partes voy:

Arte soy entre las artes,

En los montes, monte soy.

José Martí

DEDICATORIA

A mis padres, por ser guía y ejemplo de profesionales comprometidos.

A mis abuelos, porque se sentirían muy orgullosos con la culminación de esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis progenitores, sin orden ni prioridad por entregarme sus vidas incondicionalmente.

A Sandra por estos cinco años de amor, amistad, alegrías y disgustos.

A mi tía – abuela “Mimi” por su simple presencia.

A mi abuela Mireya por sus largas esperas a mi llegada.

A mis tíos Sergito y Rafael por quererme como su hijo.

A mi primo Jossué por ser mi “hermano mayor”.

A mis tías Mercedes y Miralys por sus interminables pero queridas locuras.

A Maite por su apoyo incondicional y por brindarme un pedacito de su casa.

A todos y cada uno de mis familiares por la confianza depositada en mí.

A mis tutores Homero y Orlando por su guía y consejo oportuno.

A mi mamita Vivian y Orlando por su amistad.

A todos y cada uno de mis compañeros de aula por poder compartir estos cinco años de carrera.

A todos y cada uno de mis profesores por formarme como profesional y que les quede claro que me llevo al menos una enseñanza de cada uno.

A mis amigos Danny y Yadiel por su presencia a pesar de la “distancia”.

A los “Lions” por esas horas y horas de football.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Julio Abel Canito Alfonso, declaro que soy el único autor del presente 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 el presente a los _____ días del mes de _____ de 2018.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

La presente investigación titulada: “Solución Conceptual vial de enlace Vía Blanca – Carretera Central”, tiene como propósito principal completar el anillo periférico de la ciudad de Matanzas, que permita segregar las grandes cargas rodantes y el tráfico de paso fuera de la red vial urbana, lográndose la seguridad y confort en la circulación tanto del tráfico pesado y de paso como el interno de la ciudad. Entre los métodos científicos que se emplearon se encuentran el análisis – síntesis, histórico – lógico, inducción – deducción, inferencia de datos y observación directa. 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) y herramientas informáticas: 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, elaborado por la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF), y de interés también, para el Centro Provincial de Vialidad y otras entidades implicadas en la planificación y administración de las vías provinciales.

Palabras claves: planeamiento vial, solución conceptual, anillo periférico, accesibilidad, movilidad, conectividad.

ABSTRACT

The present investigation entitled: "Conceptual road solution of link Vía Blanca - Carretera Central", has as main purpose to complete the peripheral ring of the city of Matanzas, which allows to segregate the large rolling loads and the transit traffic outside the urban road network , achieving safety and comfort in the circulation of heavy and passing traffic as well as the internal traffic of the city. Among the scientific methods that were used are the analysis - synthesis, historical - logical, induction - deduction, data inference and direct observation. National standard calculation procedures are also used, based on international regulations such 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) and computer tools: AutoCad , Microsoft Office Excel and EndNote X7, which allow to speed up the processing and correction of data. Among the results obtained in the investigation are the conception of a road, the determination of its main geometric characteristics and the contribution to the General Plan of Territorial and Urban Planning (PGOTU) for the city of Matanzas, prepared by the Provincial Planning Office Physics (DPPF), and also of interest, for the Provincial Roads Center and other entities involved in the planning and administration of the provincial roads

Keywords: road planning, conceptual solution, peripheral ring, accessibility, mobility, connectivity.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1. Estado del arte y la práctica del diseño de soluciones viales en ciudades a nivel nacional e internacional.	8
1.1- Planeamiento vial. Términos y definiciones.	8
1.1.1- Sistemas de vías.	9
1.1.1.1- Clasificación funcional.....	9
1.1.1.2- Parámetros que caracterizan a las vías.	12
1.1.1.3- Normativas vigentes a los efectos del diseño de vías.....	13
1.1.2- Atributos de la vialidad de las ciudades y su entorno.	14
1.1.2.1- Accesibilidad.....	14
1.1.2.2- Movilidad.	16
1.1.2.3- Conectividad.....	18
1.1.3- Soluciones viales dirigidas a la mejora de los atributos de las ciudades y su entorno. 18	
1.1.3.1- Intersecciones viales.....	18
1.1.3.1.1- Intersecciones a nivel.....	19
1.1.3.1.2- Intersecciones a desnivel.	20
1.1.3.2- Anillos periféricos o carreteras circunvalantes.	21
1.2- Justificación del empleo de anillos periféricos.	22
1.2.1- Corrientes vehiculares de paso por la trama urbana.	23
1.2.2- Tiempo de recorrido.....	23
1.2.3- Longitud de recorrido.	24
1.3- El desarrollo de las ciudades y sus sistemas viales.	24
1.3.1- Patrón de expansión y crecimiento.	25
1.3.2- Desarrollo socio-económico como eje del crecimiento de las ciudades.	25
1.4- El sistema vial de las ciudades y su entorno.	27
1.5- Solución Conceptual, la interfase de la documentación técnica del proyecto. ..	27
Conclusiones Parciales.....	29
Capítulo 2 Materiales y métodos	30
2.1- Análisis del sistema vial de la ciudad de Matanzas y su entorno.	30
2.1.1- Accesos o entradas/salidas de la ciudad.....	31
2.1.2- Principales ejes de circulación.	32
2.1.3- Conexión entre accesos y ejes.....	33
2.1.4- Conexión entre accesos.....	33
2.2- Previsión de la demanda actual de tráfico.	34
2.2.1- Tránsito futuro. Factor de proyección del tránsito.....	35
2.3- Categorización técnica de la carretera.	35
2.4- Requisitos de diseño.	36
2.4.1- Tipo de terreno.....	36
2.4.2- Velocidad de diseño.....	37
2.4.3- Sección transversal típica.....	37
2.4.3.1- Ancho de carriles.....	38
2.4.3.2- Bombeo del pavimento.....	40
2.4.3.3- Paseos y bermas.	40

2.4.3.4-	Ancho del separador central o mediana.	41
2.4.4-	Trazado en planta.	42
2.4.5-	Trazado en perfil.	44
	Conclusiones Parciales.....	50
Capítulo 3	Análisis de los Resultados.....	51
3.1	Determinación de la demanda de tráfico actual.	51
3.1.1-	Determinación del tránsito futuro.	55
3.2	Determinación de la categorización funcional.	56
3.2-	Determinación de los requisitos de diseño.	56
3.2.1-	Determinación del tipo de terreno.....	56
3.2.2-	Determinación de la velocidad de diseño.	56
3.2.3-	Determinación de la sección transversal típica.	57
3.2.3.1-	Determinación del ancho de carriles.	57
3.2.3.2-	Determinación del bombeo del pavimento.....	57
3.2.3.3-	Determinación del ancho de los paseos y bermas.	58
3.2.3.4-	Determinación del ancho del separador central o mediana.	59
3.2.4-	Determinación del trazado en planta.....	60
3.2.5-	Análisis del perfil longitudinal.....	61
3.2.6-	Análisis de los resultados.....	61
3.2.7-	Propuesta final.	64
Conclusiones	.....	68
Recomendaciones	.....	69
Referencias Bibliográficas	.....	70
Anexos	.....	73
Anexo 1.	.....	73
Anexo 2.	.....	74
Anexo 3.	.....	75
Anexo 4.	.....	76
Anexo 5.	.....	79
Anexo 6.	.....	80
Anexo 7.	.....	80

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Matanzas está considerada una de las más modernas ciudades de Cuba por su concepción, trazado regular renacentista, planificación fundacional y generalizado estilo neoclásico (García Santana, 2009). El trazado de la red vial urbana de la ciudad fue ideado para el transporte no motorizado que operaba en la época de su fundación, fundamentalmente compuesto por carretas de tracción humana y animal. La Revolución Industrial trajo consigo avances en el transporte terrestre, al surgir el vehículo de motor, su tendencia a su uso privado y el aumento progresivo de sus prestaciones, incrementó los problemas en el tránsito urbano, complicando las condiciones de operación del tráfico que se ven entorpecidas por la diversidad y atraso tecnológico del parque vehicular que circula por las carreteras cubanas.

La urbe yumurina se encuentra ubicada en la travesía del corredor entre La Habana y Varadero, en el cual se mezclan los viajes entre ambos destinos, existiendo una alta composición de estos que son motivados por el turismo y por el desarrollo industrial asociado a la explotación petrolera. La urbe es atravesada por tres ríos: el Yumurí y el San Juan por el centro; por el este, el Canímar; y se desarrolla sobre gran parte del perímetro de la bahía de Matanzas, sobre colinas de media altura hasta cotas cercanas a los 100 metros sobre el nivel del mar, excepto al sur de la bahía y cerca de los ríos, por lo que las características topográficas de la ciudad dificultan las condiciones de transitabilidad.

La ciudad se encuentra conectada a la red nacional a través de la Vía Blanca y por la Carretera Central, ambas atraviesan la ciudad siguiendo diferentes itinerarios. Dichas vías llegan a solaparse en el tramo desde el inmueble La Panchita a Peñas Altas, coincidiendo con la calzada General Betancourt. Este solape introduce demoras en los viajes por la mezcla de los flujos vehiculares que circulan por dichas vías de diferentes categorías y funciones. Los puentes pertenecientes a la red vial de la ciudad de Matanzas, algunos centenarios, se ven sometidos a esfuerzos producidos por los flujos vehiculares, la mayoría de paso, que circulan por las vías de la ciudad. Esta situación obliga a buscar la forma de reducir la circulación del flujo vehicular sobre los puentes y de esta forma

contribuir a la conservación de ellos para mantenerlos en servicio. La trama urbana presenta parámetros geométricos, inadecuados para las maniobras y movimientos realizados por los vehículos que circulan a través de la Vía Blanca y la Carretera Central, como consecuencia los recorridos no son directos y continuos, lo que atenta contra la velocidad, la maniobrabilidad, la seguridad y el confort.

Las dificultades anteriores imponen a especialistas y autoridades del territorio, la urgencia de concebir un vial que dé solución al completamiento del enlace entre puntos periféricos de acceso a la ciudad de Matanzas, y que a la vez sea una inversión orientada hacia la esfera de los servicios como infraestructura necesaria para el desarrollo sostenible, lo cual está en sintonía con el Lineamiento No. 89 de la política y social del Partido y la Revolución ((PCC), 2016).

Estudios precedentes, (Batista Hernández, 2010, Piad Aldazábal, 2011, Arencibia Fundora, 2016, Rodríguez Rodríguez, 2016, González García, 2017, González Hernández, 2017) validan 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.

Lo descrito anteriormente conduce a la **situación problemática**: la necesidad de completar el anillo periférico de la ciudad de Matanzas para configurar la red vial futura y que segregue las grandes cargas rodantes y el tráfico de paso fuera de la red vial urbana de la ciudad de Matanzas. Ante esta realidad, se hace necesario llevar a cabo un proceso investigativo regido por el siguiente **problema científico**: ¿Cómo completar el anillo periférico de la ciudad de Matanzas, para configurar la red vial futura y que segregue las grandes cargas rodantes y el tráfico de paso fuera de la red vial urbana de la ciudad de Matanzas?

De esta manera para la investigación se asumió como **objeto de estudio**: las soluciones viales para la mejora de los atributos de las ciudades y su entorno y como **campo de acción**: los anillos periféricos como solución para la mejora de la accesibilidad, movilidad y conectividad en la ciudad de Matanzas y su entorno.

Para el desarrollo de la investigación el autor se planteó la **hipótesis**: si se completa el anillo periférico de la ciudad de Matanzas con una carretera que enlace la Vía Blanca con la Carretera Central, para segregar las grandes cargas rodantes y el tráfico de paso fuera de la red vial urbana, se logrará la seguridad y confort en la circulación, tanto del tráfico pesado y de paso como el interno de la ciudad.

Variable independiente:

Propuesta de un anillo periférico a la ciudad de Matanzas que enlace Vía Blanca – Carretera Central.

Variable dependiente:

Mejora de los atributos de accesibilidad, movilidad y conectividad en la infraestructura vial de la ciudad de Matanzas.

Como **objetivo general** se definió: proponer en la fase de Solución Conceptual una carretera que enlace la Vía Blanca con la Carretera Central, para completar el anillo periférico de la ciudad de Matanzas, que permita segregar las grandes cargas rodantes y el tráfico de paso fuera de la red vial urbana.

Para darle cumplimiento al mismo, se adoptaron los siguientes **objetivos específicos**:

- Analizar el estado del arte y la práctica del diseño de carreteras como anillos periféricos a nivel nacional e internacional, y planes de ordenamiento territorial y urbano, que rigen el funcionamiento de la red vial de ciudades y su entorno.
- Caracterizar el proceso de diseño en la etapa de Solución Conceptual de anillos periféricos.
- Elaborar una Solución Conceptual del anillo periférico de la ciudad de Matanzas.

Para desarrollar la presente investigación se emplearon diferentes **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 anillos periféricos, 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** se empleó partiendo de informes publicados de forma oficial y emitidos por las autoridades rectoras de la economía nacional, se tomaron datos referentes al comportamiento de la actividad financiera, en términos de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) y el desarrollo de la ciudad de Matanzas de forma general. A partir de pautas establecidas a mediano y largo plazo, 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.

La investigación posee valor **económico** pues la ejecución de un anillo periférico 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 carreteras, y obras de fábrica mayores y menores, 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 la novedad de la incorporación de nuevos softwares en aras de agilizar y dar precisión al proceso.

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), donde solamente se hace referencia a la necesidad de un anillo periférico

a la ciudad de Matanzas y carece de información respecto a su posible trazado y características geométricas.

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 segregar 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 demanda vial. Este permitió conocer el Promedio Anual de Volumen Diario de Tráfico (PAVDT) en autos directos equivalentes, que puede ser despejado por la infraestructura vial propuesta, la caracterización del proceso de diseño de carreteras y la determinación de sus requisitos de diseño.

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

Se realiza el proceso de predimensionamiento de los elementos componentes de la carretera que conforma el anillo periférico según el alcance y precisión de la etapa de Solución Conceptual, mediante el empleo de las normativas vigentes a nivel nacional y mundial para cada caso, tanto desde el punto de vista de la carretera como de las obras de fábrica -de ser empleadas-, los elementos del drenaje y demás factores intervinientes en el óptimo funcionamiento del vial.

- **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 por el autor.

- **Recomendaciones**
- **Bibliografía**
- **Anexos**

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA DEL DISEÑO DE SOLUCIONES VIALES EN CIUDADES A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.

En el presente capítulo se analiza de forma exhaustiva la bibliografía científica referente al tema de la investigación, conformando un cuerpo teórico que sirva de sustento para las consiguientes fases de concepción de la Solución Conceptual de anillo periférico de la ciudad de Matanzas.

1.1- Planeamiento vial. Términos y definiciones.

Debido al carácter social de la producción y la propiedad social sobre los medios de producción más importantes, es imprescindible la necesidad de un desarrollo organizado. El objetivo del planeamiento es la fundamentación sensata y sustento sistemático de las interrelaciones entre las ramas de la economía.

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 et al., 2011).

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 el Plan General 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).

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. Teniendo en cuenta este concepto, el autor asume que planeamiento vial es el conjunto de acciones con carácter preventivo y organizado, que rigen el aprovechamiento del terreno; establece líneas de trabajo y planifica los recursos función de la problemática actual,

repercusión en la vida socioeconómica y política del territorio, con el objetivo de mejorar el sistema vial.

1.1.1- Sistemas de vías.

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial, tanto la rural como la urbana, se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes carreteras y calles, para así atender las necesidades de movilidad de las personas y mercancías, de una manera rápida y confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades o usos del área colindante (Cal y Mayor Reyes Spíndola and Cárdenas Grisales, 2010).

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.

El autor define como sistema de vías al conjunto o distribución organizada de infraestructura viaria que interactúa de forma directa e indirecta con un área, zona o territorio permitiendo movimientos de cargas y pasajes, garantizando la accesibilidad, movilidad y conectividad. Estos sistemas de vías están compuestos por las vías urbanas y las vías rurales.

1.1.1.1- Clasificación funcional.

La clasificación funcional es clave en el proceso de planeamiento del transporte, ya que agrupa las distintas carreteras y calles en clases o sistemas, de acuerdo al servicio que se espera que presten.

La clasificación funcional contribuye a la solución de muchos problemas (Cal y Mayor Reyes Spíndola and 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

Con la clasificación funcional es posible (Cal y Mayor Reyes Spíndola and Cárdenas Grisales, 2010):

- Establecer 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
- Establecer las bases para programas a largo plazo, implementación de prioridades planeación fiscal

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 and 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.

Tras el análisis de las clasificaciones funcionales, se corrobora la importancia de estas en el proceso de diseño, ya que predeterminan los parámetros básicos que definirán al vial.

1.1.1.2- Parámetros que caracterizan a las vías.

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.

(Agosta and 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 drenaje.

Teniendo en cuenta los criterios de estos autores, en la presente investigación se considera que los parámetros que caracterizan a las vías están directamente relacionados con su clasificación funcional, tanto urbanas como rurales, ya que los mismos varían en correspondencia con las tipologías. Se asumen como parámetros que caracterizan a las vías los siguientes:

- Tipo de terreno
- Velocidad de diseño
- Sección transversal típica
- Trazado en planta
- Trazado de perfil

1.1.1.3- Normativas vigentes a los efectos del diseño de vías.

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.

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.

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.

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.

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del (Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia, 2008) 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.

Cada documento normalizativo adecua los parámetros de diseño con magnitudes que varían desde los criterios técnicos hasta los intereses socioeconómicos de cada país.

1.1.2- Atributos de la vialidad de las ciudades y su entorno.

1.1.2.1- Accesibilidad

La accesibilidad y la conectividad son temas de particular interés para la geografía como disciplina científica. Comprender la dinámica de estructuración de los desplazamientos de la población en el espacio geográfico es una interrogante planteada por varios autores a lo largo de varias décadas (Ubilla-Bravo, 2017).

La accesibilidad guarda relación con la capacidad de compromiso de los ciudadanos con las oportunidades de la vida y la aplicación a un contexto social, geográfico y económico (Díaz de la Espina, 2015).

Según (Santos y Ganges and de las Rivas Sanz, 2008) la accesibilidad es un término frecuentemente empleado para designar el grado, la facilidad de acceso a un punto, en términos de distancia, tiempo o costo. Específicamente, el término también se refiere al número de posibles elecciones de recorridos para una suma determinada de costos de viaje. La accesibilidad es definida como la calidad del acceso de las personas y las empresas al sistema de movilidad urbana, consiste tanto en la infraestructura como en los servicios (Santos y Ganges and de las Rivas Sanz, 2008).

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, también con el tiempo invertido en ello. Este tipo de limitaciones corresponden a barreras físicas sobre la accesibilidad de una personas, las cuales pueden ser diferentes en relación al nivel socioeconómico del individuo (Vaccaro Rivera, 2011).

Para (Páez et al., 2012) la accesibilidad es el potencial para alcanzar o conseguir oportunidades que se distribuyen en el espacio. Otra definición indica que la accesibilidad geográfica es una distancia que permite comprender la proximidad, la separación y/o la discontinuidad entre dos o más elementos en el espacio (Ferreira and da Graça Raffo, 2013).

El estudio de la accesibilidad es una herramienta esencial para el análisis territorial en tanto que permite considerar los tiempos de desplazamiento en vehículo a motor entre todos los núcleos de población, de acuerdo con las condiciones técnicas de cada tramo de la red de carreteras y las características físicas del territorio por el que éstas transcurren, posibilitando así la delimitación de áreas de influencia competitiva entre los centros nodales del sistema de asentamientos (Benabent Fernández, 2017).

Después de analizado el criterio de varios autores se puede definir como accesibilidad: 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.

1.1.2.2- Movilidad.

La movilidad se ha vuelto una característica definitoria del mundo contemporáneo. El movimiento de cantidades cada vez más grandes de bienes, personas, dinero e información, a costos cada vez menores y a mayor velocidad, ha aumentado exponencialmente en los últimos años.

La movilidad se refiere tanto al acto de desplazarse de un lugar a otro usando algún modo de transporte, como al significado social y cultural de ese desplazamiento según (Dávila et al., 2012).

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).

El autor coincide con (Peresbarbosa Garza, 2013) en la apuesta por la movilidad sustentable, que es fomentar el uso de otras formas de movilidad, es decir, desincentivar el uso del automóvil a favor de medios de transporte alternativos, potenciando el transporte masivo.

Los autores (Santos y Ganges and de las Rivas Sanz, 2008) entienden por movilidad el conjunto de desplazamientos que tienen que realizar las personas de un ámbito territorial determinado por motivos laborales, formativos, culturales, de ocio o por cualquier otra causa.

(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. Concepto con el que más coincide el autor.

Las ciudades actuales se caracterizan por la movilidad mecanizada y masiva. La movilidad es uno de los atributos de las ciudades más importantes, ya que implica la interacción constante entre dos o más vehículos en este caso.

Las universidades como instituciones rectoras de la investigación científica han detectado las pautas de movilidad insustentables, donde el automóvil ha llegado a ser el protagonista del paisaje urbano en perjuicio de otras formas de movilidad más sustentable y de menor consumo energético. Por tanto, han empezado proyectos dentro de sus campus para revertir este problema, potencializando el uso de otros modos de transporte más sustentables. Tal es el caso de la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Autónoma de Madrid, la Universidad Nacional Autónoma de México que han implementado diversos programas y proyectos para mejorar la movilidad y promover planes en sus campus (Peresbarbosa Garza, 2013).

Según (Landon C., 2013) la autopista acceso sur a Santiago de Chile es una expresión de las nuevas formas de segregación móvil y desigualdad en la ciudad, que ha tenido efectos diferenciados en los sectores por donde pasa. En algunos barrios se ha transformado en una barrera, que limita la accesibilidad y movilidad cotidiana de sus habitantes y familias, y en otros barrios, ha mejorado la conectividad y accesibilidad para la movilidad de sus habitantes y familias en el espacio local y metropolitano.

La movilidad está sujeta a la accesibilidad. El tipo de transporte que escogerán los individuos para moverse estará influenciado por las opciones que se encuentran en su contexto y espacio. Es decir, si existe más infraestructura para moverse en transporte público y/o privado, se traduce en un determinado tipo de vialidades, en una mayor o menor disponibilidad de rutas de autobús o líneas de metro. Esto implica que el individuo tenga posibilidad de optar por desplazarse en automóvil o por algún medio alternativo menos contaminante pero igual o más eficiente que el transporte privado (Peresbarbosa Garza, 2013).

Tras el análisis de diferentes conceptos por varios autores, se adoptó que la movilidad es 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.

1.1.2.3- Conectividad.

Para (Benabent Fernández, 2017) la conectividad expresa el grado en que los nodos de una red se encuentran conectados entre ellos, por ejemplo, el número de conexiones por transporte terrestre de cada núcleo urbano.

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) 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. En este sentido, no se debe confundir conectividad con accesibilidad. La accesibilidad hace referencia a la condición de acceso que las personas tienen en determinado lugar, mientras que la conectividad tiene que ver con la conexión.

El autor concuerda con (Pereyra et al., 2014) y defiende como conectividad, el hecho de que diferentes puntos geográficos se encuentren conectados, de manera que se pueden establecer relaciones de movilidad.

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

1.1.3.1- Intersecciones viales.

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. Mundialmente existen varias tipologías de soluciones para intersecciones, quedando en mano de los especialistas la decisión de proponer distintas alternativas para su posterior evaluación y, en dependencia de los resultados, optar por la más eficiente.

El *Policy on Geometric Design of Highways and Streets* de la ((AASHTO), 2011) plantea que durante el diseño de intersecciones es necesario considerar los siguientes elementos:

- Factores humanos
- Consideraciones de tráfico
- Elementos físicos
- Factores económicos
- Área funcional de la intersección

1.1.3.1.1- Intersecciones a nivel.

Según el Manual de Proyecto Geométrico de Carretera de la (Dirección General de Servicios Técnicos, 2016) las intersecciones a nivel se definen de acuerdo con su geometría, en: de tres ramas, de cuatro ramas y de ramas múltiples; estas últimas, se evitarán hasta donde sea posible. Además, se incluyen dentro de la clasificación, las siguientes variaciones: sin canalizar, ampliadas y canalizadas.

- De tres ramas

Son intersecciones donde confluyen tres ramas, que pueden adoptar la forma de “T” o de “Y”.

- De cuatro ramas

Son intersecciones donde confluyen cuatro ramas, con inclinaciones rectas o en esviaje.

- De ramas múltiples

Son intersecciones donde confluyen más de 4 ramales y presentan un elevado número de puntos de conflicto, que se evitarán en la medida de lo posible, realizando los cruces a

distinto nivel o realizando una rectificación de los ramales en diagonal para que se separen los puntos de conflicto.

- Cruce con ferrocarril

Son intersecciones donde confluye un camino con una vía de ferrocarril, ya sea a nivel o desnivel.

- Canalizadas
- Sin canalizar
- 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.

Al igual que para las intersecciones a nivel, la (Dirección General de Servicios Técnicos, 2016), presenta el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras donde establece que los tipos de intersecciones a desnivel son:

- 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 semi directa, una rampa semi directa 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 semi direccionales.

Las rampas directas reducen la distancia recorrida por volúmenes de tránsito importantes, elimina entrecruzamientos y evita movimientos regresivos; con lo que se alcanzan niveles de servicio altos, puesto que capacidad y velocidades son mayores.

1.1.3.2- Anillos periféricos o carreteras circunvalantes.

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. Anillo vial que circunda a la ciudad es una vía expresa con acceso únicamente a través de intercambiadores en arterias principales.

A juicio del autor 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 y no interactúen con el tráfico de la misma.

Los anillos periféricos 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.

1.2- Justificación del empleo de 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 de circunvalación.

Otra justificante del empleo de esta solución vial es que estudios llevados a cabo en Gran Bretaña, Noruega, Suecia, Alemania y Dinamarca revelan que, de media, se ha encontrado una reducción del 25% en el número de accidentes con víctimas tras la construcción de las circunvalaciones (Elvik, 2013). Esto constituye fuerte argumento ya que la reducción de la accidentalidad es vital en la vialidad.

Según (Anaya Perla et al., 2004) la construcción de la circunvalante tiene como principal objetivo: “disminuir la congestión del tráfico simplificando los movimientos de tráfico que cruzan el Área Metropolitana de San Salvador” y cuya mayor función es “mejorar el transporte de carga y gente entre las municipalidades del Área Metropolitana de San Salvador y sus departamentos adyacentes” y afirman que esta implementación proporciona ventajas como:

- “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.
- Se generen una gran cantidad de empleos durante el tiempo de ejecución de la obra”.

El autor concuerda con las ventajas mencionadas, pero considera que también las carreteras circunvalantes ayudan a desconcentrar hacia la periferia de las ciudades, actividades incompatibles con el funcionamiento de los centros de ciudades y otras generadoras de fuertes tráfico pesados, potenciando el desarrollo económico – industrial de estas zonas.

1.2.1- Corrientes vehiculares de paso por la trama urbana.

La 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) 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

Estos factores están evidenciados a nivel nacional, donde la existencia de un gran número de conductores con diferentes aptitudes al volante a la hora de realizar cualquier maniobra y sus diferentes destinos, la gran diversidad del parque vehicular cubano y el mal estado de la red vial urbana, se une para provocar el congestionamiento en la ciudad. Debido a estas situaciones el empleo de anillos periféricos o carreteras circunvalantes contribuye al descongestionamiento de la red vial urbana, disminuyendo las corrientes vehiculares que transitan por ellas.

1.2.2- 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.

El tiempo de recorrido y las demoras también constituyen parámetros que pueden ser mejorados en la circulación dentro, hacia y desde las ciudades con la inclusión en su infraestructura vial de la circunvalante.

1.2.3- Longitud de recorrido.

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

Con la implementación de las carreteras circunvalantes la distancia de recorrido tiende a alargarse por su característica longitudinal, pero por las condiciones de transitabilidad se reducen los tiempos de recorridos. Por lo tanto, la longitud de recorrido en las carreteras circunvalantes no constituye un factor negativo, todo lo contrario, es un elemento a favor de la implementación de estas vías.

1.3- El desarrollo de las ciudades y sus sistemas viales.

Para que la expansión de las ciudades y la llegada de nuevos habitantes sea posible, no solo se deben dar las condiciones económicas, sino que también debe haber una intención desde los administradores territoriales que favorezca la llegada de nuevos capitales inmobiliarios. De esta forma, los organismos públicos crean las condiciones para facilitar la oferta de viviendas y de una serie de servicios, de manera de fomentar el desarrollo de

la ciudad y su vialidad, potenciando el turismo y la llegada de nuevos habitantes (Zaviezo Arriagada, 2015).

1.3.1- Patrón de expansión y crecimiento.

Las ciudades deben zonificarse, separando las funciones, aislando las actividades sucias y nocivas de los sitios de habitación. Los grandes edificios, deberán elevarse sobre el terreno que quedará libre, es la ciudad sobre el verde natural, las actividades humanas regidas por el movimiento del sol (Fernández, 1986).

El crecimiento urbano estuvo dirigido, en lo fundamental, a la erección de construcciones en las calzadas de acceso de la ciudad y una moderada expansión hacia el oeste de la ciudad intrarríos (Cuba Díaz, 2012).

1.3.2- Desarrollo socio-económico como eje del crecimiento de las ciudades.

Según (Cuervo, 1985) los esquemas de desarrollo urbano definen la estructura de la ciudad y su uso del suelo por zonas, siendo la base para la política de desarrollo urbano. Constituye de hecho, la imagen objetiva del proceso de crecimiento de la ciudad. Esta fase del estudio de la planificación de las ciudades consta de dos partes fundamentales:

- El programa de desarrollo, que es definido por los estudios del esquema provincial.
- El esquema de localización con sus soluciones urbanísticas y organizativas.

Los pronósticos urbanos se deben examinar en la escala provincial para que, a través de un análisis integral en el marco de los subsistemas de asentamientos, puedan evaluarse diferentes variantes de dimensionamiento y definir un programa de desarrollo para la ciudad. Los esquemas de desarrollo de las ciudades, deben constituir el punto de enlace entre las escalas provincial y urbana: la primera aportará fundamentalmente, el marco socioeconómico y físico que sustenta y expresa las funciones que la ciudad debe asumir en el territorio y la segunda definirá la factibilidad de tales aspectos, así como las soluciones físicas al marco urbano (Cuervo, 1985).

Por tanto, según (Cuervo, 1985) los esquemas de desarrollo de las ciudades deberán:

- Determinar las implicaciones físicas y las consecuencias en costos de las soluciones alternativas para la distribución espacial de un programa dado y sus respectivas ventajas e inconvenientes.
- Definir la solución estructural en lo referente al hábitat, el sistema de centros, las áreas verdes y deportivas, la recreación y el descanso, las zonas industriales, la estructura vial principal, de ferrocarril, de las redes hidrotécnicas, así como las grandes instalaciones de servicios y de transporte.
- Examinar la secuencia de desarrollo de la estructura urbana, indicando las áreas de actuación inmediata, y elaborando criterios que permitan, más adelante, formular una propuesta de Plan Quinquenal adecuada a los requerimientos de la ciudad.
- Precisar la primera etapa de desarrollo para todos los componentes del esquema, fundamentando la selección adoptada.
- Proveer un primer marco de referencia, en el cual deberán insertarse los proyectos por zonas, de forma que permita asegurar el carácter integral de la estructura urbana.

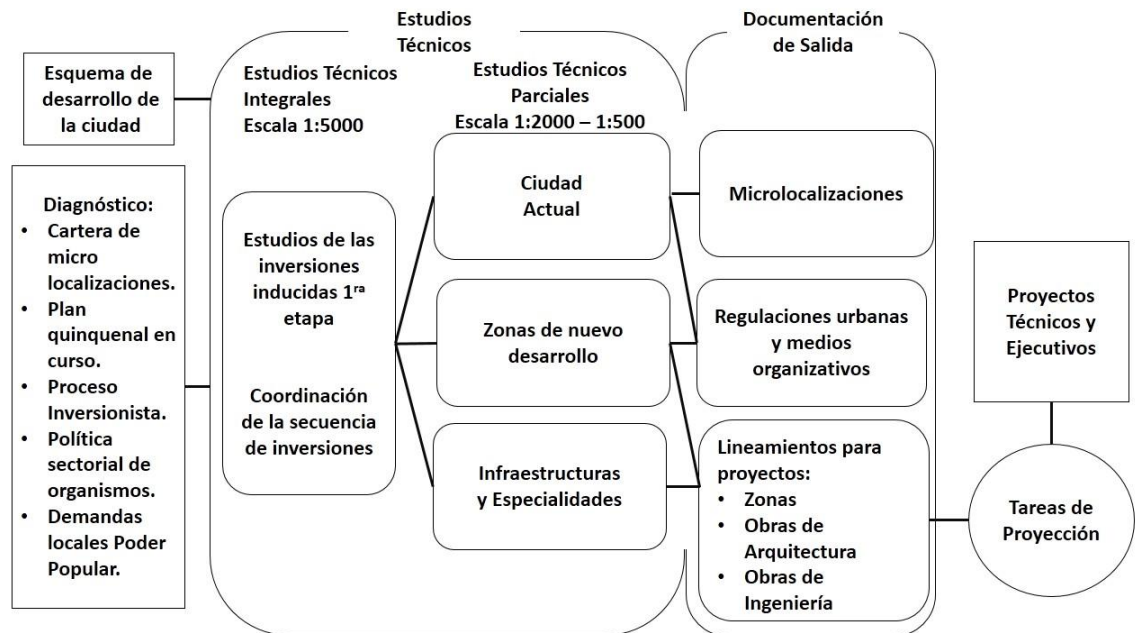


Figura 1.1. Esquema de desarrollo de la ciudad.

Fuente: (Cuervo, 1985)

1.4- 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. 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. Los planes de ordenamiento de las ciudades deberían contener el esquema de desarrollo de la ciudad para poder tener presente las futuras zonas de desarrollo de la ciudad.

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 seccionas y puntos obligados de confluencia del tránsito.

En la distribución planimétrica de las ciudades, la ubicación de las instituciones administrativas y la red comercial, juegan un papel importante porque pueden generar conflictos en la circulación por la gran atracción y producción de viajes, así como las zonas industriales, aeropuertos, hospitales, centros docentes, entre otros centros generadores de viajes.

1.5- Solución Conceptual, la 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

1. Las vías circunvalantes constituyen una solución vial eficaz dirigidas a la mejora de los atributos de las ciudades a nivel nacional e internacional.
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 que complejizan las condiciones de circulación dentro de la trama urbana.
3. El planeamiento vial dentro del ordenamiento de las ciudades constituye un elemento que determina los límites urbanos y define sus futuras zonas de desarrollo.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se realiza un análisis del sistema vial de la ciudad de Matanzas y una descripción de las metodologías y procedimientos empleados para el cálculo y diseño de la obra vial propuesta, tomando en consideración que la misma toma carácter rural y semiurbano por tramos.

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

El correcto funcionamiento de las ciudades depende en gran medida de su ordenamiento territorial, y dentro de este el planeamiento vial juega un papel muy importante. La Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF) tiene como herramienta el Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) como elemento rector de la actividad administrativa de la ciudad de Matanzas y del municipio de igual nombre. Este plan contiene 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 el (PGOTU) tiene la función de regular, tanto las inversiones del sector estatal como las del privado con un carácter sistémico. El (PGOTU) de la ciudad de Matanzas no contiene un esquema completo de desarrollo, por lo que carece de la identificación de las futuras zonas de crecimiento y su red vial.

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 24 años y 18 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, que es una obra que tomó fuerza con la construcción de la posible Refinería, que no se materializó, pero a juicio del autor y de otros autores como (Batista Hernández, 2010, Piad Aldazábal, 2011, Arencibia Fundora, 2016, Rodríguez Rodríguez, 2016, González García, 2017, González Hernández, 2017), es una obra que necesita la ciudad de Matanzas.

2.1.1- 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 Centra

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

2.1.2- 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, hasta la circunvalación norte propuesta.

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, hasta la circunvalación norte propuesta.

2.1.3- 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. 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.

2.1.4- 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.

2.2- Previsión de la demanda actual de tráfico.

El valor de la demanda o tránsito actual que podría circular por la vía propuesta, es un parámetro que justifica su construcción, por lo que su obtención exige un estudio técnico confiable.

Debido a la inexistencia de información proveniente de aforos vehiculares, por la poca frecuencia con que son realizados estos estudios en el territorio, se determinó el volumen de tránsito actual a través del método clásico empleado en Ingeniería de Tránsito, que utiliza la fórmula del 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 el estudio, y en un segundo momento para pronosticar el volumen al 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.

$$PAVDT_0 = PAVDT_n (1 + \gamma)^{n-1} \quad (2.1)$$

Donde:

- $PAVDT_0$: Promedio Anual del Volumen Diario de Tránsito para el presente.
- $PAVDT_n$: Promedio Anual del Volumen Diario de Tránsito para el año futuro "n".
- γ : Razón de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB).
- n: Cantidad de años desde la referencia hasta el año de análisis.

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 fin del tramo en estudio.

2.2.1- Tránsito futuro. Factor de proyección del tránsito.

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, se han generado tasas de crecimiento anuales del transporte de 1,5% a 5%. Este último valor se obtuvo en una sección de la Avenida de Rancho Boyeros. Esta tasa fue determinada a finales de la década de 1970 y principios de 1980.

Ante la disyuntiva de seleccionar un valor del factor de proyección del tránsito, se asume el mismo según lo sugerido por (Martínez Gómez, 2000), (ver Anexo 1), suponiendo el año 2019 como año de comienzo de la explotación de la carretera.

Este factor de proyección se inserta en la fórmula del interés compuesto, sustituyendo el valor del PIB (Ecuación 2.1).

Según plantea (Santos Perez, 2016) el período de diseño máximo se encuentra entre 15 y 24 años, sin embargo, un período de diseño de 20 años es el más empleado. Teniendo en cuenta los cambios probables en la economía regional, la población, y el desarrollo de las zonas aledañas a una vía; normalmente el tráfico no debe ser previsto con precisión alguna en un período más allá de 20 años. Por lo tanto se utilizó para denominar la categoría de la misma en un período de 20 años.

2.3- Categorización técnica de la carretera.

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) Vehículos/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 las Vías expresas Rurales (Ver NC 754)	

Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2012)

2.4- Requisitos de diseño.

Los requisitos mínimos de proyecto a establecer para el diseño geométrico de las vías expresas rurales son los siguientes (Oficina Nacional de Normalización, 2010b):

- Tipo de terreno
- Velocidad de diseño
- Sección transversal típica
- Trazado en planta
- Trazado de perfil

Debido a la complejidad del diseño por la variación del terreno a lo largo de la traza propuesta y al alcance del presente trabajo, el autor consideró solamente los requisitos de diseño mencionados anteriormente.

2.4.1- 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.

2.4.2- Velocidad de diseño.

La velocidad de diseño que se empleará para proyectar depende del tipo de terreno en que se encuentre la obra. (Tabla 2.2 a y b).

Tabla 2.2 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 2.2 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)

2.4.3- 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

sección transversal típica, los requisitos mínimos de proyecto a establecer para el diseño geométrico de las vías expresas rurales son:

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

En la presente investigación solo se hace referencia al ancho de los carriles, bombeo del pavimento, ancho de los paseos, pendiente de los paseos y ancho del separador central o mediana, pues para los taludes se deben considerar obras de fábrica por las características topográficas del área de emplazamiento de la obra, lo que necesita un análisis más amplio que se va fuera del alcance de este trabajo.

2.4.3.1- Ancho de 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 2.3 a y b).

Tabla 2.3a. 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 2.3 b. Ancho de los carriles NC 853: 2012.

Categoría	Veh/d	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						
		100	80	60	80	60	50	60	60	50	40	60	50	40	30	60	50	40	30						
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	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	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50						
4	m	13,50	12,00	11,00	11,50	10,50	9,50	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00						
5a	0	3°20'	5°30'	10°30'	5°30'	10°30'	-	10°30'	-	10°30'	-	10°30'	-	10°30'	-	10°30'	-	10°30'	-						
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
5b	m	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14	208,35	109,14						
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
6	%	3	5	8	4	6	9	5	7	10(12)	6	8	12(14)												
		100	50	20	50	20	15	15	20	15	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10					
7	m	210	140	95	140	95	60	95	60	45	60	45	30												
		700	560	420	560	420	350	350	420	350	280	350	280	210											
10	m	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00						

Fuente: (Oficina Nacional de Normalización, 2012)

Como se puede apreciar en la tabla 2.3 b de la NC 853: 2012 aparecen los valores de todos los elementos geométricos de la sección transversal y del trazado. Los valores según la NC 754: 2010 se continúan mostrando a continuación.

2.4.3.2- 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 2.4).

Tabla 2.4. 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).

2.4.3.3- 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 2.5. Ancho de paseos y bermas NC 754: 2010.

Tipo de relleno		Llano	Ondulado	Montañoso	
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 ligeros por hora)		2000	2000	1600	1400
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).

La pendiente de los paseos será del 4 % y serán pavimentados y la de las bermas del 8%, estas también estarán pavimentadas y si las cunetas son de tierra las bermas lo serán igual.

2.4.3.4- Ancho del separador central o mediana.

Los valores del ancho del separador central se pueden observar en la siguiente tabla. (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. 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).

2.4.4- Trazado en planta.

Para la concepción del trazado en planta se tuvieron en cuenta las alineaciones rectas o tangentes que se proyectaron de forma suave y armoniosa de acorde con la topografía del área de emplazamiento. No se proyectarán tramos rectos mayores de 3 km para evitar la monotonía y el deslumbramiento. Se tuvo en cuenta que la velocidad de diseño entre 2 tramos con diferentes velocidades, no exceda de los 20 km/h y en caso de que sea necesario se proyectará un tramo de transición con una longitud no menor de 2 km (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

Durante la concepción del trazado en planta también se tuvieron en cuenta las alineaciones curvas, como las curvas circulares simples, cuyos radios mínimos se pueden observar en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Radios mínimos de curvatura horizontal NC 754: 2010.

Velocidad de diseño (km/h)	Radio mínimo para curva transicional obligatoria (RH) (m)
80	1300
100	2000
120	3000
140	4000

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

Se tuvo también en cuenta la presencia o no, de curvas circulares con espirales para no producir discontinuidades en la geometría del trazado. Las curvas circulares se usaron

cuando el valor del radio de las curvas resultó ser menor que los radios establecidos en la tabla 2.7.

Los radios mínimos de las curvas en planta serán los que se reflejan en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Radios mínimos de las curvas en planta NC 754: 2010.

Radios mínimos de las curvas en planta (m)	Velocidad de diseño (km/h)			
	80	100	120	140
Radio mínimo absoluto (RHm)	240	425	665	1000
Radio mínimo normal (RHN)	425	665	1000	1400
Radio mínimo sin superelevación (RH)	2000	3000	4000	5000

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.

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.

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.

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

Otro de los elementos que se tuvo en cuenta para la concepción del trazado en planta fueron los criterios para la determinación de la alineación en planta, cumpliendo con la mayor cantidad posible de criterios, los mismos se relacionan a continuación (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.

2.4.5- Trazado en perfil.

Para la confección del perfil longitudinal se tuvieron en cuenta los valores máximos de rasante según la velocidad de diseño como se refleja en la tabla 2.9

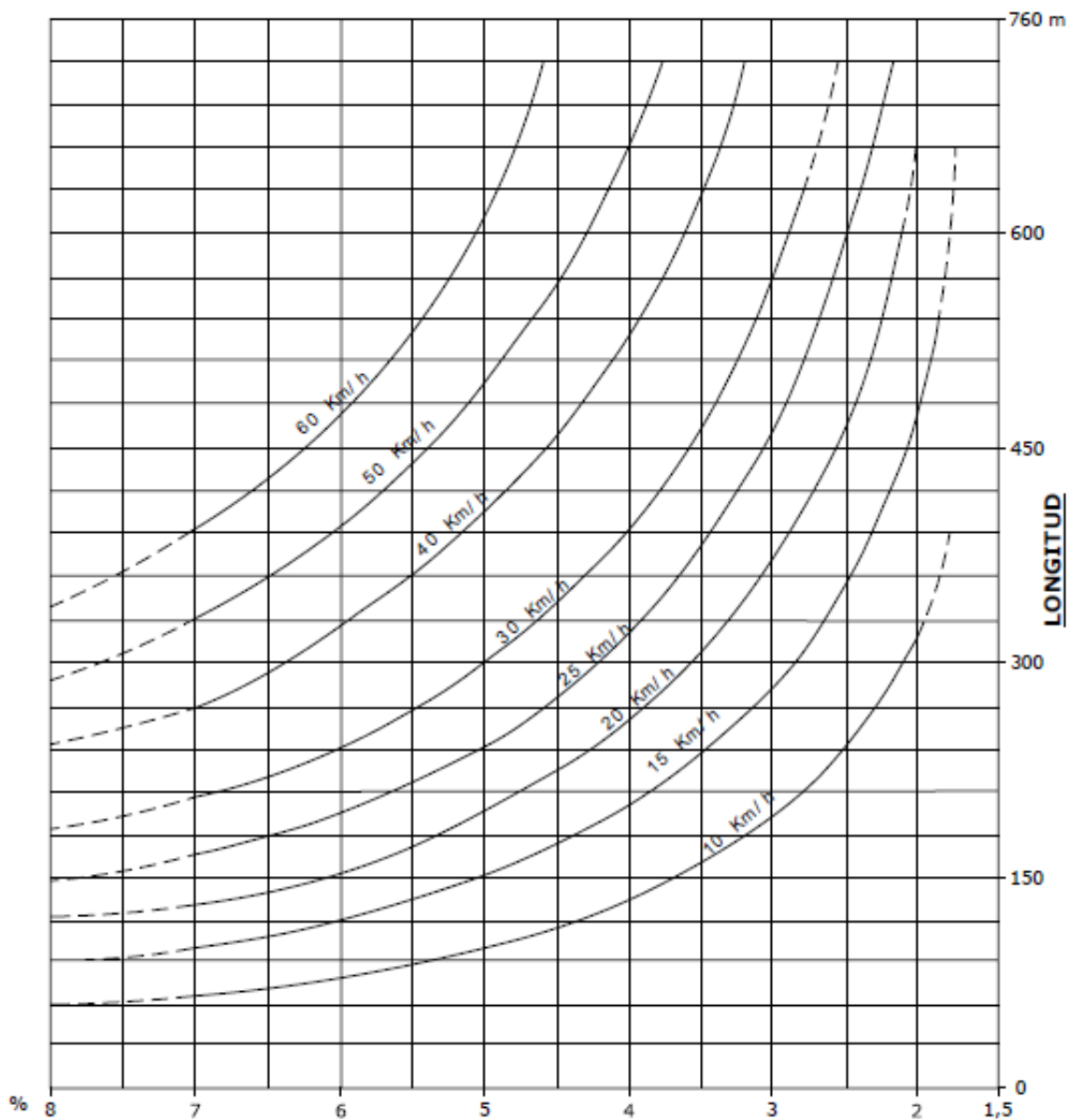
Tabla 2.9. Valores de rasante mínima NC 754: 2010.

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).

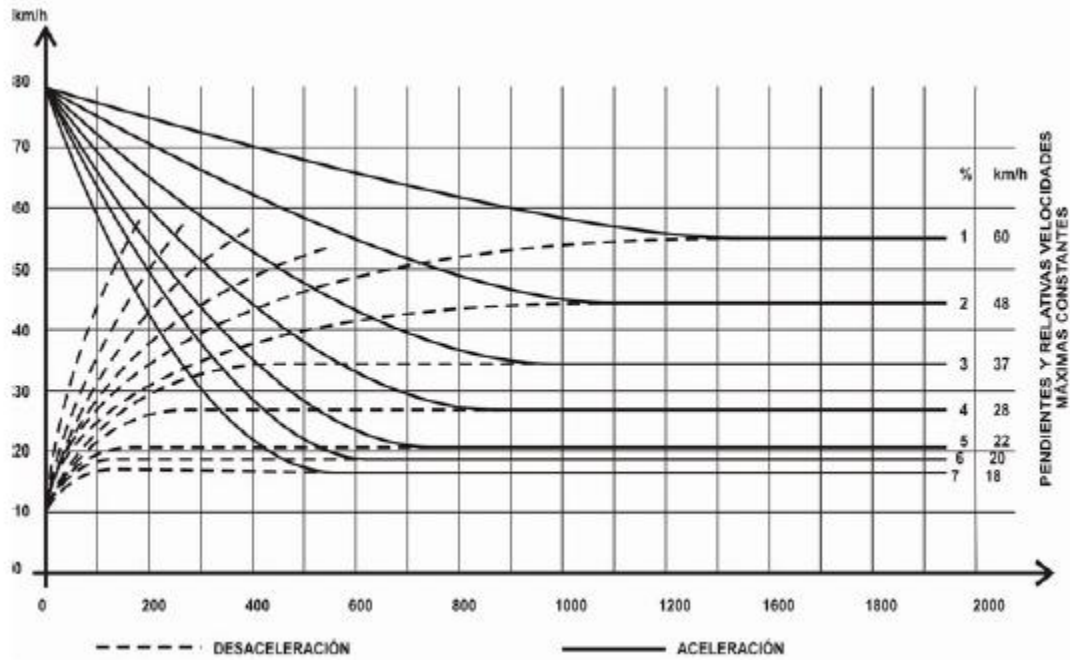
Las longitudes máximas de pendiente tienen en consideración una reducción razonable de 25 km/h. Las longitudes se determinan considerando que el acceso de los vehículos a las rampas se efectúa en una rasante casi a nivel (hasta el +1 %). De no cumplirse estas condiciones, será necesario entonces calcular la velocidad de acceso a la rampa para determinar la longitud máxima de rasante admisible. El empleo de una o varias pendientes, cuya longitud ocasione una reducción de velocidad mayor que 25 km/h, requiere la realización de un análisis, para ver el efecto que sobre la capacidad y el nivel de servicio originan en la vía y para determinar si hay necesidad de añadir un carril de marcha lenta (ver Figuras 2.1 y 2.2) (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

Figura 2.1. Disminución de velocidad de una rampa NC 754: 2010.



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

Figura 2.2. Velocidad de los vehículos lentos en las rampas en función de las mismas NC 754: 2010.



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

Las longitudes que se establecen en la Tabla 2.10 están calculadas como en tangente. Donde la condición incluye curvas verticales con rasante del mismo signo y la diferencia algebraica de las mismas no sea grande, se puede tomar la longitud de rasante como la distancia entre los puntos de intersección vertical (PVI). Cuando la condición incluye curvas verticales con rasante de signo contrario; en el caso que la distancia sea grande, se considera una cuarta parte de la curva como parte de la rasante.

Tabla 2.10. Longitud mínima NC 754: 2010.

Pendiente (8%)	Longitud máxima entre CT y TC de curva vertical (m)
3	500
4	360
5	260
6	200

Donde:
CT: curva tangente
TC: tangente curva

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

Las curvas verticales que se proyecten serán parabólicas y sus valores mínimos de longitud de curva vertical por cada cambio de un % en la pendiente (K), se establecen en la (Tabla 2.11).

Tabla 2.11. Longitud mínima de la curva vertical NC 754: 2010.

K (m/%)		Velocidad de diseño (km/h)
Cima	Depresión	
280	90	140
210	80	120
105	55	100
50	35	80

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

Otro de los elementos que se tuvo en cuenta para la concepción del trazado en perfil fueron los criterios para la determinación de la alineación en perfil, cumpliendo con la mayor cantidad posible de criterios, los mismos se relacionan a continuación (Oficina Nacional de Normalización, 2010b).

- 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 (ver Tabla 2.9).

Conclusiones Parciales

1. Aunque la idea de un anillo periférico a la ciudad de Matanzas ha sido tratado en varios (PGOTU) de la (DPPF), conociendo los beneficios que supone su ejecución y puesta en explotación; aún no se concreta su concepción por parte de las autoridades implicadas.
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 carretera analizada.
4. Los requisitos de diseño de una carretera deben responder a un adecuado trazado que optimice sus características operacionales, aportándole la capacidad necesaria para satisfacer el tránsito esperado.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se aplica la metodología descrita en el capítulo anterior con el objetivo de obtener los valores de tráfico para la determinación de los parámetros geométricos de la vía propuesta.

3.1 Determinación de la demanda de tráfico actual.

Para la determinación de la demanda actual de tráfico se emplearon como datos de entrada los volúmenes provenientes de aforos vehiculares realizados en el año 2004 por el Centro Nacional de Vialidad, con el objetivo de caracterizar el tráfico rodante por las vías periféricas de la ciudad de Matanzas. Inicialmente se han trasladado los valores hasta el año 2018, para tomarlo luego como año base para el pronóstico de la demanda durante el período de análisis. (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Determinación de la demanda de tráfico actual.

Según el Producto Interno Bruto (PIB)																		
Años		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Clasificación
Variación del PIB		0,038	0,054	0,118	0,125	0,073	0,043	0,014	0,021	0,027	- 0,031	- 0,027	- 0,013	0,044	0,005	0,000		
C. Central (N-1) (Mtz.- Mocha)	1249	1589	1649	1739	1945	2189	2349	2451	2486	2539	2608	2528	2460	2429	2536	2549	2549	Arteria Menor
C. Central (N-1) (Mtz.- Limonar)	4164	5771	5991	6315	7061	7944	8524	8891	9016	9206	9455	9162	8915	8800	9188	9234	9234	Vía Expresa
C. Norte. Vía Blanca	3456	4790	4973	5242	5861	6594	7076	7381	7485	7643	7850	7607	7402	7306	7628	7667	7667	Arteria Principal
C. Norte. Viaducto Matanzas	12512	16268	16886	17798	19899	22387	24022	25055	25406	25940	26641	25816	25119	24793	25884	26014	26014	Vía Expresa
C. Norte. Apta. Mtzas - Varadero	8271	10704	11111	11711	13093	14730	15806	16486	16717	17069	17530	16987	16529	16315	17033	17119	17119	Vía Expresa
Mtzas - Unión de Reyes	1710	2175	2258	2380	2661	2994	3213	3352	3399	3471	3565	3455	3362	3319	3466	3484	3484	Arteria Menor
Circunvalación Matanzas	1620	2060	2139	2255	2522	2838	3046	3177	3222	3290	3379	3275	3187	3146	3285	3302	3302	Arteria Menor

Fuente: elaboración propia

Después de la obtención de los valores de tráfico actualizados de las carreteras tributantes se procedió a aplicarle los coeficientes de expansión. (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Coeficientes de expansión.

Para mayo de 2018				
Coeficientes de expansión				
de 12 a 24 horas				de mes al año
Días entre semana	Sábado	Domingo	Promedio	
1,39			1,390	0,915
1,41	1,39	1,45	1,413	0,981
1,41	1,39	1,45	1,413	0,981
1,35	1,35	1,47	1,367	0,951
1,41	1,39	1,45	1,413	0,916
1,39			1,390	0,915
1,39			1,390	0,915

Fuente: Centro Provincial de Vialidad.

Los volúmenes de tráfico actualizados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Volúmenes de tráfico actualizados para mayo de 2018.

	Composición					Clasificación Funcional
	Total	Ligeros	Pesados			
			Total	Camiones	Ómnibus	
3,62%	2549	1478	1071	969	102	Arteria Menor
13,13%	9234	5817	3417	2955	462	Vía Expresa
10,90%	7667	5674	1993	1457	537	Arteria Principal
36,99%	26014	20291	5723	4422	1301	Vía Expresa
24,34%	17119	13010	4109	2739	1370	Vía Expresa
4,95%	3484	2021	1463	1080	383	Arteria Menor
4,70%	3302	1783	1519	1387	132	Arteria Menor
1,36%	958	565	393	374	19	Colectora
	70327					

Fuente: elaboración propia.

Para la descomposición del tráfico se utilizó la composición del tráfico resultante de los aforos vehiculares realizados en el año 2004 por el Centro Nacional de Vialidad. (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Composición del tráfico.

% Composición del Total		
Ligeros	Camiones	Ómnibus
58%	38%	4%
63%	32%	5%
74%	19%	7%
78%	17%	5%
76%	16%	8%
58%	31%	11%
54%	42%	4%

Fuente: Centro Nacional de Vialidad.

Como resultado final del proceso de cálculo se obtuvieron los valores que se presentan a continuación. (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Tráfico que circulará por la solución vial propuesta.

Tráfico que circulará por la nueva solución			
Total	Ligeros	Pesados	
		Camiones	Ómnibus
93	54	35	4
1213	764	388	61
836	619	159	59
3621	2824	616	181
1001	761	160	80
87	50	27	9
156	84	66	6
563	332	220	11
7570	5488	1671	411
	72%	22%	6%

Fuente: elaboración propia.

Para la conversión de los valores de los vehículos pesados a ligeros se utilizó los factores de equivalencia mostrados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Conversión de vehículos pesados a ligeros.

Tipo de vehículo	Cantidad	Factor de equivalencia	Vehículos ligeros
Ligeros	5488	1	5488
Camiones	1671	2,5	4178
Ómnibus	411	2	822
			10488

Fuente: elaboración propia.

3.1.1- Determinación del tránsito futuro.

Una vez obtenido el valor de la demanda de tráfico, se procedió a determinación del tráfico futuro con la utilización de la ecuación 2, teniendo en cuenta el factor de proyección del tráfico establecido por (Martínez Gómez, 2000), llevándolo a un período de 20 años para el análisis y diseño de la vía. (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Determinación del tráfico futuro.

Años	Factor de proyección	Vehículos por año
2019	0,0%	10488
2020	0,0%	10488
2021	1,0%	10593
2022	1,0%	10699
2023	1,0%	10806
2024	2,0%	11023
2025	2,0%	11244
2026	2,0%	11469
2027	2,0%	11699
2028	2,0%	11933
2029	2,5%	12232
2030	2,5%	12538
2031	2,5%	12852
2032	2,5%	13174
2033	2,5%	13504
2034	2,5%	13842
2035	2,5%	14189
2036	2,5%	14544
2037	2,5%	14908
2038	2,5%	15281
2039	2,5%	15664

Fuente: elaboración propia.

3.2 Determinación de la categorización funcional.

Con el resultado obtenido en el epígrafe anterior y teniendo en cuenta la tabla 2.1 se pudo determinar que la categorización funcional de la carretera propuesta. (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Categorización funcional

Categoría Técnica	Intensidad de tránsito (PAVDT) Vehículos/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 las Vías expresas Rurales (Ver NC 754)	

Fuente: elaboración propia.

Como resultado se obtuvo que la carretera propuesta es una vía rural expresa.

3.2- Determinación de los requisitos de diseño.

3.2.1- Determinación del tipo de terreno.

Apoyado en el software informático AutoCad y el mapa topográfico de la zona de emplazamiento de la carretera propuesta se determinó que el terreno es ondulado.

3.2.2- Determinación de la velocidad de diseño.

Tras la determinación del tipo de terreno y utilizando la tabla 2.2 se procedió a la determinación de la velocidad de diseño obteniendo un valor de 120 km/h. (Tabla 3.9).

Tabla 3.9. Categorización funcional

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: elaboración propia.

3.2.3- Determinación de la sección transversal típica.

3.2.3.1- Determinación del ancho de carriles.

Entrando a la tabla 2.3 con el tipo de terreno y el valor de la velocidad de diseño se obtuvo que serán 4 el número de carriles, 2 en cada sentido de circulación, cada uno de 3,75 m. (Tabla 3.10).

Tabla 3.10. Categorización funcional

Tipo de	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: elaboración propia.

3.2.3.2- Determinación del bombeo del pavimento.

Teniendo en cuenta que el bombeo del pavimento depende del tipo de pavimento, se propuso utilizar hormigón asfáltico (bituminoso) a lo largo del trazado, obteniéndose un valor de bombeo de 2,5%. (Tabla 3.11)

Tabla 3.11. Categorización funcional

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.

Las intersecciones viales presentes en la carretera propuesta se abogó utilizar en ellas pavimento de hormigón hidráulico, ya que en estas zonas se provocan grandes esfuerzos sobre el pavimento, ocasionados fundamentalmente por el frenado. Las intersecciones viales constituyen un tema fuera del alcance del presente trabajo por lo que se propone su posterior análisis en futuros trabajos.

3.2.3.3- Determinación del ancho de los paseos y bermas.

A través del tipo de terreno en que está emplazada la carretera se procedió a determinar el ancho de los paseos y de las bermas según los valores normados. (Tabla 3.12)

Tabla 3.12. Determinación de los paseos y bermas.

Tipo de relleno		Llano	Ondulado	Montañoso	
Faja de emplazamiento (m)		60	60	60	600
Velocidad de diseño (km/h)		140	120	100	800
Máximo volumen de servicio para 2 carriles en una dirección (vehículos ligeros por hora)		2000	2000	1600	1400
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: elaboración propia.

*Los valores del ancho de paseo a la izquierda no se reflejan en la tabla ya que en ella se hace referencia a un solo sentido de circulación, quedando a la derecha el paseo. Por tanto los valores de ancho de paseo de izquierda son iguales a los de la derecha.

3.2.3.4- Determinación del ancho del separador central o mediana.

Para la determinación del ancho del separador central se utilizó el tipo de terreno donde está emplazada la obra, obteniéndose de esta forma según los valores normados. (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Determinación del ancho del separador central.

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: elaboración propia.

Después de haberse obtenido los requisitos de diseño de los que depende la sección transversal de la vía se obtuvo como resultado la sección que se muestra. (Figura 3.1).

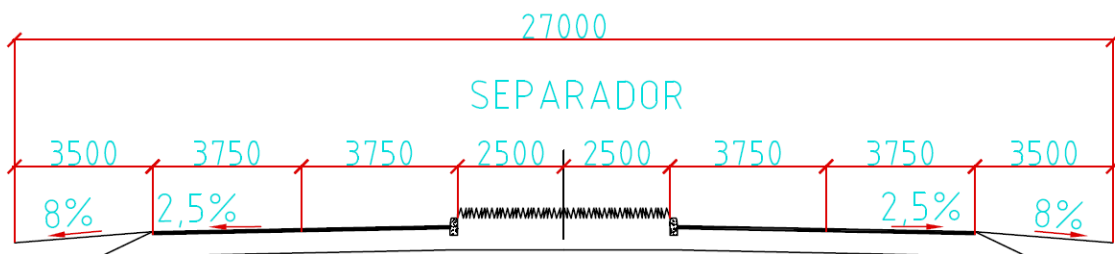


Figura 3.1. Esquema de la sección transversal de cálculo.

Fuente: elaboración propia.

3.2.4- Determinación del trazado en planta.

Luego de analizar los requisitos de diseño en planta se logró la concepción del trazado en planta de acorde a las exigencias normadas (figura 3.2). El trazado en planta cuenta con una longitud total de aproximadamente 7720 m. Además presenta dos puentes, uno salvando el abra de Yumurí con una longitud aproximada de 300 m y el otro sobre la carretera de Matanzas – Mena. Para este trazado se concibieron 5 intersecciones fundamentales con las calles San Isidro y Mujica, otra en el complejo de la salud y como plantea el objetivo general del trabajo, con Vía Blanca y carretera Central respectivamente.

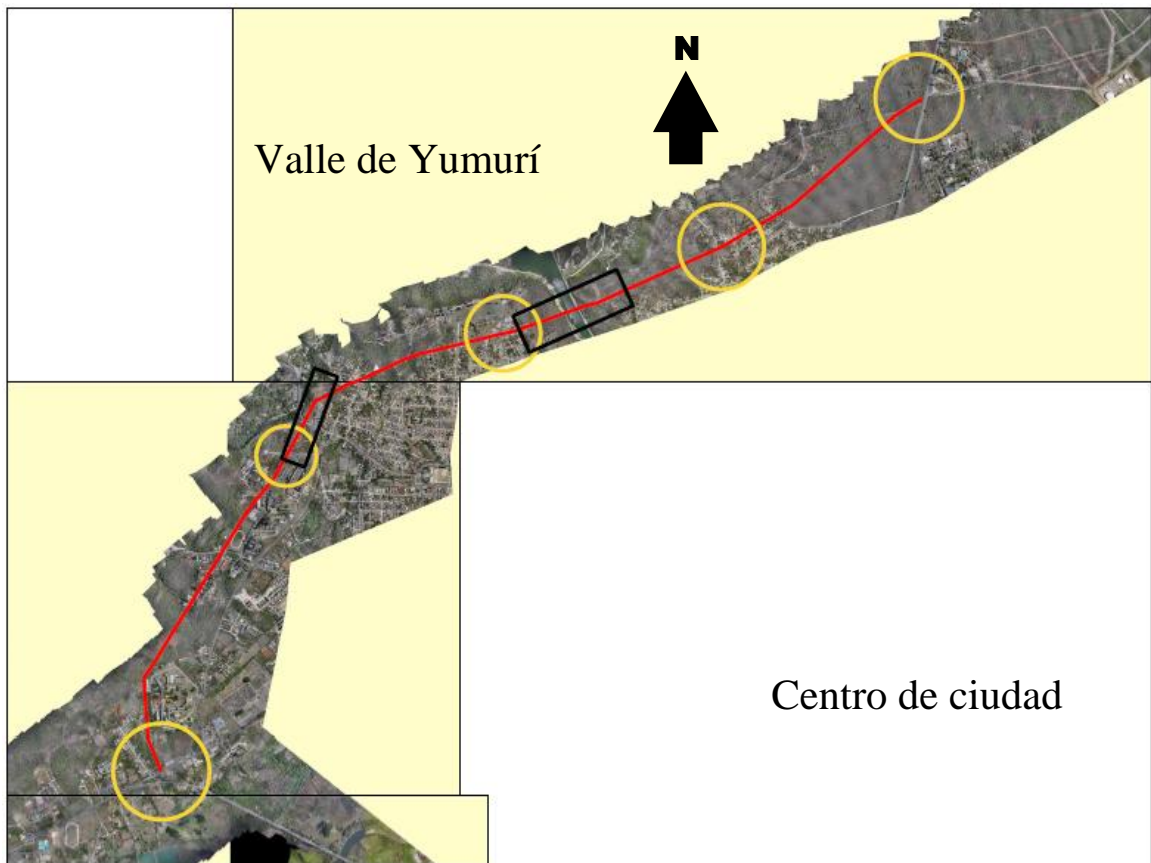


Figura 3.2. Esquema del trazado en planta.

Fuente: elaboración propia.

3.2.5- Análisis del perfil longitudinal.

Para la concepción del perfil longitudinal del vial propuesto el autor tomó como base el levantamiento altimétrico proporcionado por GEOCUBA y tuvo en cuenta los requisitos del trazado en perfil. El autor se apoyó en el software AutoCad para la obtención del perfil longitudinal. (Figura 3.3).

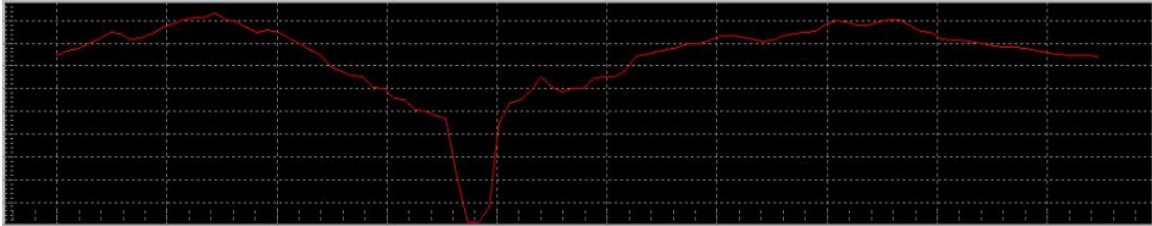


Figura 3.3. Esquema del terreno.

Fuente: elaboración propia.

El autor realizó un análisis del perfil longitudinal de la vía, proponiendo valores de pendiente para la rasante similares a los sugeridos en la metodología explicada en el capítulo anterior y como resultado se muestra en la figura 3.4. Para una mayor visualización de los elementos del perfil longitudinal, se anexa al trabajo un documento en formato PDF. La vista del perfil es desde el valle Yumurí.

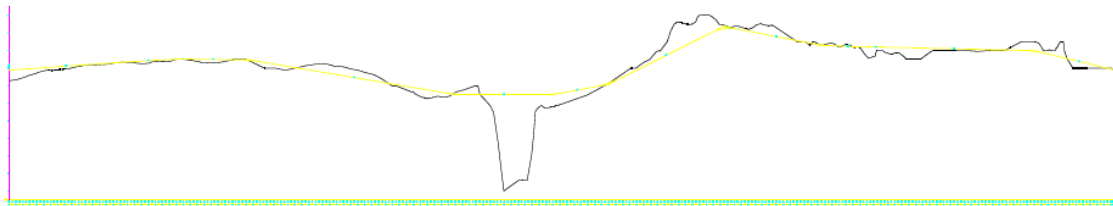


Figura 3.4. Esquema del perfil longitudinal.

Fuente: elaboración propia.

3.2.6- Análisis de los resultados.

Como análisis de los resultados obtenidos se realizó el cálculo de volumen de servicio 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.

$$\begin{aligned}
 VS_D &= MVS \times w \times T_1 \times B_1 \\
 VS_D &= 3600 \times 1 \times 0,5319 \times 0,8403 \quad (3.1) \\
 VS_D &= 1609 \text{ veh / h}
 \end{aligned}$$

Donde:

- VS_D : Volumen de servicio que se brinda en total para ambos sentidos para el nivel "D".
- MVS: Máximo Volumen de Servicio, véase anexo 2.
- w : Factor de corrección que toma en cuenta el ancho del carril y la distancia a obstáculos laterales, véase anexo 3.
- T_1 : Factor de corrección que toma en cuenta el por ciento de camiones en la corriente de vehículos, obtenido por medio de:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{100}{(100 - P_t + E_t \times P_t)} \\
 T_1 &= \frac{100}{(100 - 22 + 5 \times 22)} \\
 T_1 &= 0,5319 \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

Donde:

- P_t : Por ciento de camiones.
- E_t : Carros equivalentes de pasajeros para camiones, según se analice la vía en toda su longitud o en una pequeña sección de ella, véase tabla 1 y 2 del anexo 4.

- B_1 : Factor de corrección que toma en cuenta el porcentaje de ómnibus en la corriente de vehículos, obtenido por medio de:

$$B_1 = \frac{100}{(100 - P_b + E_b \times P_b)}$$

$$B_1 = \frac{100}{(100 - 5 + 4 \times 6)}$$

$$B_1 = 0,8403 \quad (3.3)$$

Donde:

- P_b : Por ciento de ómnibus.
- E_b : Carros equivalentes de pasajeros para ómnibus, según se analice la vía en toda su longitud o en una pequeña sección de ella, véase tabla 1 y 3 del anexo 4.

Después de obtenido el valor del volumen de servicio para el nivel de servicio "D", se aplicó un proceso de ingeniería inversa para obtener el valor de (PAVDT) que acogería la vía.

$$VS = Q$$

$$Q = PAVDT \times K \times D$$

$$PAVDT = \frac{Q}{(K \times D)} \quad (3.4)$$

$$PAVDT = \frac{1609}{(0.15 \times 0.5)}$$

$$PAVDT = 21453 \text{ veh / d}$$

Donde:

VS: Volumen de servicio (veh/h).

Q: Volumen Horario de Diseño (veh/h).

PAVDT: Promedio Anual de Volumen Diario de Tránsito (veh/d).

K: Porcentaje del PAVDT que corresponde a la hora de diseño.

D: Porcentaje del PAVDT correspondiente al sentido de máxima circulación (Distribución direccional), valor asumido 0.5.

Una vez obtenido el valor del (PAVDT) que acogería la vía se comparó con el (PAVDT) del año de diseño como forma de comprobación del resultado obtenido:

21453 veh/d > 15664 veh/d

Por lo tanto la sección transversal propuesta acogería un (PAVDT) mayor que el obtenido para el año de diseño y brinda un servicio en perfectas condiciones.

3.2.7- Propuesta final.

Teniendo en cuenta la inestabilidad del (PIB) en Cuba y experiencias del Centro Nacional de Vialidad que afirman que el crecimiento del tráfico previsto por los métodos de estimación para ciertos períodos de tiempo, no se alcanzan para el período previsto, sino que se concretan años después, el autor propone un cambio en la sección transversal de la vía. Basado también en que la mayor parte de las intersecciones propuestas se producen con carreteras y calles de 2 carriles, ya que manteniendo la sección de 4 carriles, complejizaría aún más el diseño de las intersecciones. Por tanto se propone una sección transversal con las siguientes características:

- 2 carriles de 3,75 m, 1 en cada sentido de circulación.
- Paseos de 2,50 m.

A continuación se sometió la nueva sección transversal a un análisis similar al que se le realizó a la variante anterior. Donde se procedió a calcular el volumen de servicio para el nivel de servicio ``D`` apoyado en (Oficina Nacional de Normalización, 1984).

$$\begin{aligned}
VS_D &= 2800 \times \left(\frac{V}{C}\right) \times w \times T_1 \times B_1 \\
VS_D &= 2800 \times 0,85 \times 1 \times 0,5319 \times 0,8403 \quad (3.5) \\
VS_D &= 1063 \text{ veh / h}
\end{aligned}$$

Donde:

- VS_D : Volumen de servicio que se brinda en total para ambos sentidos para el nivel ``D``.
- (V/C) : Relación volumen – capacidad real, véase tabla 1 del anexo 5.
- w : véase tabla 1 del anexo 6.
- T_1 : véase tabla 1 y 2 del anexo 7.
- B_1 : véase tabla 1 y 3 del anexo 7.
- Nota: w , T_1 y B_1 tienen el mismo significado establecido en el epígrafe anterior.

Una vez obtenido el valor del volumen de servicio para el nivel de servicio ``D``, se aplicó ingeniería inversa al igual que se mostró en el epígrafe anterior.

$$\begin{aligned}
VS &= Q \\
Q &= PAVDT \times K \times D \\
PAVDT &= \frac{Q}{(K \times D)} \quad (3.6) \\
PAVDT &= \frac{1063}{(0.15 \times 0.5)} \\
PAVDT &= 14173 \text{ veh / d}
\end{aligned}$$

Tras la obtención del valor del (PAVDT) que acogería la nueva sección transversal propuesta, se buscó en qué período de tiempo se lograba este valor. (Tabla 3.14)

Tabla 3.14. Aumento del (PAVDT) en el tiempo.

Años	Factor de proyección	Vehículos por año
2019	0,0%	10488
2020	0,0%	10488
2021	1,0%	10593
2022	1,0%	10699
2023	1,0%	10806
2024	2,0%	11023
2025	2,0%	11244
2026	2,0%	11469
2027	2,0%	11699
2028	2,0%	11933
2029	2,5%	12232
2030	2,5%	12538
2031	2,5%	12852
2032	2,5%	13174
2033	2,5%	13504
2034	2,5%	13842
2035	2,5%	14189
2036	2,5%	14544
2037	2,5%	14908
2038	2,5%	15281
2039	2,5%	15664

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar se prevé que en un período de aproximadamente 16 años se logre el (PAVDT) que la sección transversal podría acoger, lo que está en concordancia con el período de diseño de carreteras de 15 a 24 años. Por lo tanto se propone construir el vial con una sección transversal como se muestra a continuación. (Figura 3.4).

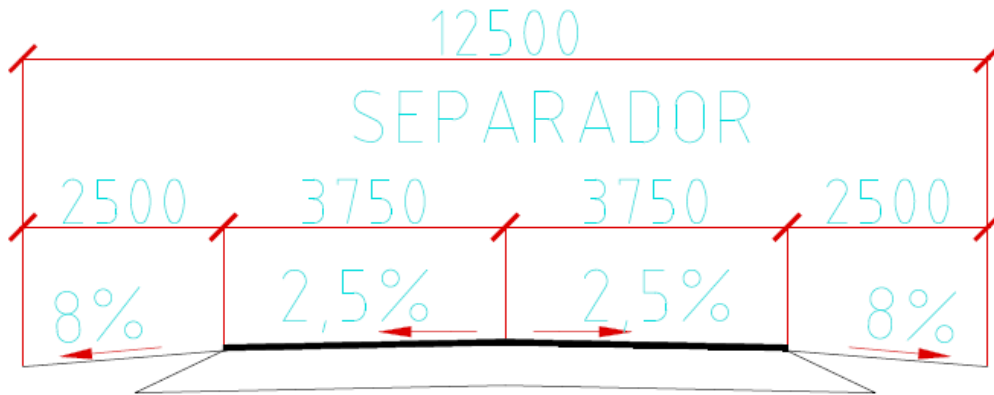


Figura 3.5. Esquema de la sección transversal propuesta.
Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El análisis la documentación técnica permitió corroborar que las carreteras como anillos periféricos constituyen una solución vial que proporciona mejoras de los atributos de las ciudades y su entorno a nivel nacional e internacional.
2. El (PGOTU) de la ciudad de Matanzas, carece de información sobre la concepción del anillo periférico de la ciudad, lo que constituye un tema pendiente para las autoridades y la comunidad científico – técnica del territorio, que permitiría el completamiento del sistema de vías de la ciudad.
3. Los requisitos de diseño del vial propuesto responden a un trazado adecuado que optimiza las condiciones de operación, donde la capacidad definida permite un flujo de tráfico armónico en correspondencia con la zona de emplazamiento.
4. El Esquema General de la Solución Conceptual de la carretera como anillo periférico 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.

RECOMENDACIONES

1. A las entidades comprometidas con el funcionamiento del sistema vial de la ciudad de Matanzas, la realización de los estudios origen y destino que permitan tener un mayor conocimiento y control del comportamiento de los flujos vehiculares.
2. Al Centro Provincial de Vialidad realizar el estudio de factibilidad económica a la solución propuesta como forma de validar los resultados obtenidos.
3. A la carrera Ingeniería Civil continuar con la realización de nuevas investigaciones para completar el proyecto del anillo periférico de la ciudad de Matanzas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (AASHTO), A. A. O. S. H. A. T. O. 2011. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
- (DPPF), D. P. D. P. F. 2011. Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano (PGOTU) de Matanzas.
- (PCC), P. C. D. C. 2016. Actualización de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.
- AGOSTA, R. & PAPA ZIAN, A. 2006. Diseño Geométrico de la Infraestructura de Transporte Terrestre.
- 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.*
- ARENCIBIA FUNDORA, A. 2016. *Propuesta de solución vial a desnivel en la intersección de Peñas Altas.*
- 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
- BATISTA HERNÁNDEZ, H. J. 2010. Estudio del trazado vial para un anillo periférico norte a la Ciudad de Matanzas.
- BENABENT FERNÁNDEZ, M. 2017. Ground public transport and accessibility, instruments for the functional analysis of the settlements system: the case of Ecuador. *Estoa N°11*, Vol. 6.
- CAL Y MAYOR REYES SPÍNDOLA, R. & CÁRDENAS GRISALES, J. 2010. *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones.*
- CONSEJO DE MINISTROS 2015. REGLAMENTO DEL PROCESO INVERSIONISTA.
- CUBA DÍAZ, J. M. 2012. Expediente de la Ciudad de Matanzas.
- CUERVO, H. 1985. La planificación de las ciudades en Cuba. *Arquitectura y Urbanismo*, VI No. 1.
- DÁVILA, J. D., BRAND, P., JIRÓN, P., VARGAS CAICEDO, H., COUPÉ, F., CÓRDOBA, J. E., MEJÍA G., M. Á., AGUDELO V., L., CARDONA, J. G., SARMIENTO O., I., GAKENHEIMER, R., RUEDA G., N., SÁENZ G., L. H., ACEVEDO, J., VELÁSQUEZ, J. M., BOCAREJO, J. P., ALVAREZ R., M. J., BOCAREJO, D., DASTE, D., NARANJO, N., KOCH, F. & AMORIM DA SILVA, V. R. 2012. *Movilidad urbana y pobreza: Aprendizajes de Medellín y Soacha.*
- DÍAZ DE LA ESPINA, L. Z. 2015. *Accesibilidad en el transporte público colectivo urbano: una mejor comprensión de la experiencia de discapacidad.* doctorado.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO 2005. Manual de Diseño Geométrico de Vialidades.
- DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS 2016. Manual de proyecto geométrico de carreteras.
- ELVIK, R. 2013. El Manual de Medidas de Seguridad Vial. Fundación MAPFRE.
- FERNÁNDEZ, E. 1986. Clima urbano. *Arquitectura y Urbanismo*, VII No. 3.

- FERREIRA, R. V. & DA GRAÇA RAFFO, J. 2013. Visualização cartográfica da acessibilidade geográfica aos postos de saúde da região rural de Registro (SP).
- GARCÍA SANTANA, A. 2009. *Matanzas. La Atenas de Cuba*.
- 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*.
- GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, L. 2017. *Procedimiento para la planificación y control de flujos peatonales en la Zona Priorizada para la Conservación del Centro Histórico de la ciudad de Matanzas*. Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil, Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos".
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA 2008. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.
- 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.
- LORÍA SALAZAR, L. G., MATAMOROS KIKUT, I. & ALPÍZAR GUTIÉRREZ, D. 2011. Planificación del Transporte. *Pitru*, Vol 2. N° 19.
- 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.
- MARTÍNEZ GÓMEZ, A. 2000. Análisis económico, costo - beneficio, para estudios y proyectos de carreteras. *In: CENTRO NACIONAL DE VIALIDAD, M. (ed.)*.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 1984. NC 53 - 118 Vías con flujo ininterrumpido. Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 1987. NC 53.080.1987 Vías urbanas.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2010a. NC 753.2010 Carreteras. Vías rurales. Clasificación funcional.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2010b. NC 754: 2010 Carreteras. Requisitos para el diseño geométrico de las vías expresas rurales.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2012. NC 853: 2012 Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo.
- PÁEZ, A., SCOTT, D. M. & MORENCY, C. 2012. Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transport Geography*, vol. 25, 141-153.
- PERESBARBOSA GARZA, L. 2013. *Diagnóstico de las prácticas de movilidad y accesibilidad en ciudad universitaria (uanl) para lograr una movilidad sustentable*. maestría.
- PEREYRA, G., VALIENTE, M. B., LUNA, M. & VÁSQUEZ, M. J. 2014. Internal connectivity of department Chimbass (San Juan). Analysis of public transport passenger. *Contribuciones Científicas*, Vol. 26.
- PIAD ALDAZÁBAL, D. R. 2011. *Evaluación de Circunvalante Norte de la Ciudad de Matanzas*.
- RADELAT EGÜES, G. 1964. *Manual de Ingeniería de Tránsito*.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J. C. 2016. *Propuesta de solución a nivel tipo rotonda de la intersección vial Peñas Altas*

- SANTOS PEREZ, O. 2016. *Solución Conceptual de Intersección a Desnivel Semidireccional en el Nudio de Entrada a Varadero.*
- SANTOS Y GANGES, L. & DE LAS RIVAS SANZ, J. L. 2008. CITIES WITH ATTRIBUTES: CONNECTIVITY, ACCESIBILITY AND MOBILITY.
- UBILLA-BRAVO, G. 2017. Accessibility and geographical connectivity in rural areas. Case of the commune Maria Pinto, Chile. *Papeles de Geografía.*
- VACCARO RIVERA, L. M. 2011. Análisis de la accesibilidad desde la perspectiva de la movilidad.
- ZAVIEZO ARRIAGADA, D. P. 2015. *Homogeneización del paisaje urbano periférico de la ciudad de Puerto Varas en el período 2000-2014.* Master, Universidad Católica de Chile.

ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 1. Factores de proyección del tráfico.

	Años	Factor de proyección
1	2019	0,0%
2	2020	0,0%
3	2021	1,0%
4	2022	1,0%
5	2023	1,0%
6	2024	2,0%
7	2025	2,0%
8	2026	2,0%
9	2027	2,0%
10	2028	2,0%
11	2029	2,5%
12	2030	2,5%
13	2031	2,5%
14	2032	2,5%
15	2033	2,5%
16	2034	2,5%
17	2035	2,5%
18	2036	2,5%
19	2037	2,5%
20	2038	2,5%
21	2039	2,5%

Fuente: (Martínez Gómez, 2000).

Anexo 2.

Tabla 1. Niveles y volúmenes máximos de servicios 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* lim. 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	$\leq 0,30$	a	a	1 200	1 000	600
B	Flujo estable (alta velocidad)	≥ 80	$\leq 0,50$	$\leq 0,20$	a	2 000	3 000	1 000
C	Flujo estable	≥ 64	$\leq 0,75$	$\leq 0,50$	$\leq 0,25$	3 000	4 500	1 500
D	Se aproxima al flujo inestable	≥ 56	$\leq 0,90$	$\leq 0,85$	$\leq 0,70$	3 600	5 400	1 800
E	Flujo inestable	Aproxim. 48		$\leq 1,00$		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 3.

Tabla 1. Efecto combinado de anchura del carril y distancia a obstáculo lateral, sobre la capacidad real y volúmenes de servicio en carreteras de múltiples 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
a) Carretera de cuatro carriles no divididas en un sentido								
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) Carretera de seis carriles no divididas en un sentido								
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 4.

Tabla 1. Carros equivalentes promedios de pasajeros para camiones y ómnibus en carreteras de múltiples carriles sobre una sección 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_t para camiones	2	4	8
	E_b para ómnibus ¹	1,6	3	5

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

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Tabla 2. Carros equivalentes de pasajeros para camiones en carreteras de múltiples carriles y subsecciones individuales con pendientes.

Pendiente %	Longitud de pendiente	CARROS EQUIVALENTES DE PASAJEROS E _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	7	8	8	8	7	7	8	8	8
	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	0,4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	0,8	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11
	1,2	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	1,6	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	2,4	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	3,2	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
5	0,4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	0,8	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
	1,2	12	12	11	13	13	13	13	14	14	14
	1,6	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
	2,4	12	13	13	15	15	13	14	16	16	15
	3,2	12	13	15	15	15	13	14	16	16	15
6	0,4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0,8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Tabla 2. Continuación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	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
6	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	13	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).

Tabla 3. Carros equivalentes de pasajeros para ómnibus interprovinciales en carreteras de múltiples carriles y subsecciones individuales en pendientes.

CARROS INDIVIDUALES DE PASAJEROS E _D		
PENDIENTE ¹ %	Niveles de Servicios desde el A hasta el C	Nivel de Servicio D y E
0 a 4	1,6	1,6
5 ²	4	2
6 ²	7	4
7 ²	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).

Anexo 5.

Tabla 1. Niveles y volúmenes máximos de servicios en carreteras de dos carriles para flujo ininterrumpido.

Nivel de Servicio	Condiciones del Flujo de Tránsito		Distancia de visibilidad de paso 450 m %	Velocidad de diseño* 112 km/h	Relación V/C (Volumen de serv./capac. real)					Máximo volumen de servicio para condiciones ideales-Velocidad de diseño* de 112 km/h (los dos sentidos)
	Descripción	Velocidad de operación km/h			Valores de trabajo para una velocidad de diseño* restringida.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	Flujo libre	≥ 96	100	0,20						400 vehículos por hora
			80	0,18	a	a	a	a		
			60	0,15						
			40	0,12						
			20	0,08						
0	0,04									
B	Flujo estable (alta velocidad)	W80	100	0,45	0,40					900 vehículos por hora
			80	0,42	0,35					
			60	0,38	0,30	a	a	a	a	
			40	0,34	0,24					
			20	0,30	0,18					
0	0,24	0,12								
C	Flujo estable	≥ 64	100	0,70	0,66	0,56	0,51	0,42		1 400 vehículos por hora
			80	0,68	0,61	0,53	0,46	0,37		
			60	0,65	0,56	0,47	0,41	0,33	a	
			40	0,62	0,51	0,38	0,32	0,26		
			20	0,59	0,45	0,28	0,22	0,18		
0	0,54	0,38	0,18	0,12						

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Tabla 1. Continuación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
D	Se aproxima al flujo inestable	≥ 56	100	0,85	0,83	0,75	0,67	0,58		a	1 700 vehículos por hora
			80	0,84	0,81	0,72	0,62	0,55			
			60	0,83	0,79	0,68	0,57	0,51			
			40	0,82	0,76	0,66	0,52	0,45			
			20	0,81	0,71	0,61	0,44	0,35			
0	0,80	0,66	0,31	0,30	0,19						
E	Flujo inestable	48 (a)	No aplicable		≤ 1,00					2 000 vehículos por hora	
F	Flujo forzado	48 (a)	No aplicable	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 6.

Tabla 1. Efecto combinado de anchura del carril y distancia a obstáculo lateral, sobre la capacidad real y volúmenes de servicio en carreteras de dos carriles para flujo ininterrumpido.

Distancia desde el borde del pavimento a la obstrucción (m)	FACTOR DE AJUSTE W_C Y W_L PARA ANCHURA DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULO LATERAL															
	Obstrucción en un solo lado ¹								Obstrucción en los dos lados							
	Anchura del carril 3,60 m		Anchura del carril 3,30 m		Anchura del carril 3,00 m		Anchura del carril 2,70 m		Anchura del carril 3,60 m		Anchura del carril 3,30 m		Anchura del carril 3,00 m		Anchura del carril 2,70 m	
	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E	Nivel B	Nivel E
1,80	1,00	1,00	0,86	0,88	0,77	0,81	0,70	0,76	1,00	1,00	0,86	0,88	0,77	0,81	0,70	0,76
1,20	0,96	0,97	0,83	0,85	0,74	0,79	0,68	0,74	0,92	0,94	0,79	0,83	0,71	0,76	0,65	0,71
0,60	0,91	0,93	0,78	0,81	0,70	0,75	0,64	0,70	0,81	0,85	0,70	0,75	0,63	0,69	0,57	0,65
0	0,85	0,88	0,73	0,77	0,66	0,71	0,60	0,66	0,70	0,76	0,60	0,67	0,54	0,62	0,49	0,58

1 - Incluye los efectos del tránsito de sentido opuesto.

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Anexo 7.

Tabla 1. Carros equivalentes promedios de pasajeros para camiones y ómnibus en carreteras de dos carriles sobre una sección de longitud considerable (incluye pendientes, rampas y secciones a nivel).

EQUIVALENTE	NIVEL DE SERVICIO	EQUIVALENTE PARA		
		Terreno Llano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso
E_t para camiones	A	3	4	7
	B y C	2.5	5	10
	D y E	2	5	12
E_b para Omnibus ¹	Todos los niveles	2	4	6

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

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Tabla 2. Carros equivalentes de pasajeros para camiones en carreteras de dos carriles y subsecciones individuales con pendientes.

PENDIENTES %	Longitud de la pendiente Km	CARRÓS EQUIVALENTES DE PASAJEROS E_t (para todos los por cientos de camiones)		
		Nivel de Servicio A y B	Nivel de Servicio C	Nivel de Servicio D y E
0 a 2	Todos	2	2	2
3	0,4	5	3	2
	0,8	10	10	7
	1,2	14	16	14
	1,6	17	21	20
	2,4	19	25	26
	3,2	21	27	29
	4,8	22	29	31
	6,4	23	31	32
4	0,4	7	6	3
	0,8	16	20	20
	1,2	22	30	32
	1,6	26	35	39
	2,4	28	39	44
	3,2	30	42	47
	4,8	31	44	50
	6,4	32	46	52
5	0,4	10	10	7
	0,8	24	33	37
	1,2	29	42	47
	1,6	33	47	54
	2,4	35	51	59
	3,2	37	54	63
	4,8	39	56	66
	6,4	40	57	68

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Tabla 2. Continuación.

1	2	3	4	5
6	0,4	14	17	16
	0,8	33	47	54
	1,2	39	56	65
	1,6	41	59	70
	2,4	44	59	75
	3,2	46	63	80
	4,8	48	68	84
	6,4	50	71	87
7	0,4	24	32	35
	0,8	44	63	75
	1,2	50	71	84
	1,6	53	74	90
	2,4	56	79	95
	3,2	58	82	100
	4,8	60	85	104
	6,4	62	87	103

Fuente:(Oficina Nacional de Normalización, 1984).

Tabla 3. Carros equivalentes de pasajeros para ómnibus interprovinciales en carreteras de múltiples carriles y subsecciones individuales en pendientes.

PENDIENTES ¹ %	CARROS EQUIVALENTES DE PASAJEROS E _B		
	Niveles de Servicio A y B	Nivel de Servicio C	Niveles de Servicio D y E (Capacidad real)
0 a 4	2	2	2
5 ²	4	3	2
6 ²	7	6	4
7 ²	12	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).