

Diseño Preliminar y Estudios de Factibilidad Técnica, Ambiental,
Económica y Financiera para la Concesión de la Obra con
Servicio Público del Proyecto Nueva Radial Heredia - San José"

E.C
442
2002
MOPT



INFORME DE DEMANDA

Enero - 2002

C&M

Cal y Mayor y Asociados, S.C.



GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS
INGENIEROS CONSULTORES



ÍNDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 4 |
| 1.1 | Justificación..... | 4 |
| 1.2 | Objetivos del estudio de demanda..... | 5 |
| 1.3 | Evolución de la concepción del proyecto..... | 5 |
| 1.3.1 | Proyecto básico..... | 5 |
| 1.3.2 | Selección de alternativas de trazo..... | 6 |
| 1.3.3 | Configuración ideal del sistema..... | 8 |
| 1.4 | Selección de los tramos de diseño..... | 10 |
| 1.5 | Diseño funcional..... | 10 |
| 1.5.1 | Intercambios Radial Heredia - Radial Uruca y Circunvalación –Radial Uruca..... | 12 |
| 1.5.2 | Conexión entre Prolongación Avenida 7a. y Autopista General Cañas..... | 12 |
| 1.5.3 | Intercambio Lagos: movimientos Lagos –San Francisco..... | 13 |
| 1.5.4 | Intercambio Circunvalación: movimientos Circunvalación Oriente – Av. 7..... | 13 |
| 2 | METODOLOGÍA GENERAL | 19 |
| 2.1 | Determinación del área de influencia y zonificación..... | 19 |
| 2.2 | Recopilación de la información documental y de campo..... | 19 |
| 2.3 | Análisis de la información..... | 21 |
| 2.4 | Elaboración y calibración de modelos..... | 21 |
| 2.5 | Pronóstico de la demanda..... | 22 |
| 2.6 | Análisis de capacidad..... | 22 |
| 2.7 | Sistemas de peaje..... | 23 |
| 3 | RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL | 24 |
| 3.1 | Estudios anteriores..... | 24 |
| 3.2 | Antecedentes tarifarios..... | 27 |
| 4 | DEFINICIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA | 28 |
| 4.1 | Área de influencia..... | 28 |
| 4.2 | Zonificación..... | 29 |
| 5 | MARCO SOCIOECONÓMICO | 32 |
| 5.1 | Antecedentes socioeconómicos..... | 32 |
| 5.1.1 | Población total..... | 32 |
| 5.2 | Actividad económica..... | 35 |
| 5.2.1 | Producto interno bruto (PIB)..... | 35 |
| 5.2.2 | Comercio exterior..... | 35 |
| 5.2.3 | Tipo de cambio..... | 37 |
| 5.2.4 | Inflación..... | 38 |
| 5.2.5 | Fuerza laboral..... | 39 |
| 5.2.6 | Registro vehicular y tasa de motorización..... | 41 |
| 5.3 | Proyección de variables socioeconómicas..... | 44 |
| 5.3.1 | Población total..... | 44 |
| 5.3.2 | Producto interno bruto..... | 46 |
| 5.3.3 | Registro de automóviles..... | 46 |
| 6 | OFERTA | 48 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 6.1 | Características físicas y operativas..... | 48 |
| 6.1.1 | Conversión de bases de datos..... | 48 |
| 6.1.2 | Características operativas..... | 50 |
| 6.1.2.1 | Velocidades y tiempos de recorrido..... | 51 |
| 6.1.3 | Características físicas..... | 53 |
| 6.2 | Comportamiento del tránsito..... | 56 |
| 6.2.1 | Aforos históricos..... | 56 |
| 6.2.2 | Aforos actuales..... | 57 |
| 6.3 | Red futura..... | 59 |
| 7 | DEMANDA | 62 |
| 7.1 | Matriz de demanda del SIATGAM..... | 62 |
| 7.1.1 | Características de los viajes..... | 62 |
| 7.2 | Matriz de demanda de estudios de campo..... | 67 |
| 7.2.1 | Características de los viajes..... | 67 |
| 7.2.2 | Origen y destino de los viajes..... | 71 |
| 7.2.2.1 | Viajes en automóvil..... | 71 |
| 7.2.2.2 | Viajes en vehículos de carga..... | 76 |
| 7.2.3 | Frecuencia de viaje..... | 78 |
| 7.2.4 | Ocupación de los automóviles..... | 78 |
| 7.2.5 | Elección de ruta..... | 78 |
| 7.2.6 | Propiedad del vehículo..... | 79 |
| 7.2.7 | Eliminación de dobles conteos..... | 80 |
| 7.2.8 | Matrices de viaje del GAM..... | 81 |
| 8 | DESARROLLO DE MODELOS | 83 |
| 8.1 | Etapas del Modelo de transporte..... | 83 |
| 8.2 | Generación..... | 83 |
| 8.3 | Distribución de la demanda..... | 84 |
| 8.4 | Selección de ruta..... | 85 |
| 8.4.1 | Análisis de las encuestas de preferencia..... | 85 |
| 8.4.1.1 | Definición..... | 85 |
| 8.4.1.2 | Diseño..... | 85 |
| 8.4.1.3 | Elaboración de la prueba piloto..... | 86 |
| 8.5 | Asignación del tránsito..... | 87 |
| 9 | ESTIMACIÓN DE TRÁNSITO DE LA RADIAL HEREDIA | 88 |
| 9.1 | Sensibilidad de la demanda..... | 89 |
| 9.2 | Demanda estimada por tramo..... | 90 |
| 9.3 | Tránsito promedio diario anual..... | 92 |
| 9.4 | Ingresos brutos..... | 92 |
| 9.4.1 | Efectos de operación del Anillo Periférico..... | 93 |
| 10 | ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO | 95 |
| 10.1 | Tramos básicos de la Radial..... | 95 |
| 10.2 | Entronques de la Radial..... | 96 |
| 10.2.1 | Análisis de los entronques de la Radial..... | 98 |
| 11 | SISTEMAS DE PEAJE | 104 |
| 11.1 | Alternativas de sistemas de estaciones de peaje..... | 104 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 11.1.1 | Sistema abierto | 104 |
| 11.1.2 | Sistema cerrado | 105 |
| 11.1.3 | Sistema mixto | 105 |
| 11.2 | Tecnologías de peaje | 105 |
| 11.2.1 | Sistemas de peaje | 105 |
| 11.3 | Opciones tecnológicas de los equipos de carril | 107 |
| 11.3.1 | Tecnología de clasificación de vehículos | 107 |
| 11.3.2 | Tecnologías de detección de vehículos | 108 |
| 11.3.3 | Tecnologías de identificación de vehículos | 109 |
| 11.3.4 | Sistema de recaudo de cobro de peaje | 110 |
| 11.3.5 | Medios y formas de pago | 112 |
| 11.3.6 | Alternativas de Solución tecnológica | 113 |
| 11.3.6.1 | Solución rango bajo | 113 |
| 11.3.6.2 | Solución rango medio | 113 |
| 11.3.6.3 | Solución rango alto | 114 |
| 11.4 | Recomendación de sistema y ubicación de las casetas para la Radial Heredia..... | 114 |
| 11.4.1 | Ubicación de casetas | 114 |
| 11.4.2 | Número de casetas, y medio de pago | 116 |
| 11.4.3 | Recomendación de solución tecnológica | 119 |
| 11.4.4 | Costos del sistema de peaje | 120 |
| 11.4.4.1 | Inversión inicial en el sistema de control de recaudo..... | 120 |
| 11.4.4.2 | Costos de operación..... | 121 |
| 12 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 123 |

1 INTRODUCCIÓN

El Consejo Nacional de Concesiones (CNC), adscrito al Ministerio de Obras Públicas y Transportes contrató mediante un proceso de Licitación Pública, la consultoría consistente en la prestación de servicios para realizar "El diseño preliminar y estudios de factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para la concesión de obra con servicio público del proyecto nueva radial Heredia-San José".

Para la realización de este Estudio se formó el Consorcio Radial Heredia (CRH), integrado por la Empresa de origen mexicano Cal y Mayor y Asociados S.C., Gómez Cajiao y Asociados (de Colombia) y la empresa costarricense DEPPAT S.A.; el cual resultó favorecido en la Licitación correspondiente.

En este documento, se presenta el Informe Final del Estudio, en el cual se indican a manera de resumen, los distintos análisis realizados durante el desarrollo del mismo, dedicando un capítulo a la descripción de cada uno de los campos de trabajo, como se explica mas adelante.

La congestión del tránsito en San José, es una característica común de otras capitales y grandes ciudades latinoamericanas, que han sido rebasadas por descuido y carencia de una inversión constante, que permita adecuar la oferta de transporte a las condiciones de demanda. Por lo anterior, la decisión tomada por el Consejo Nacional de Concesiones para incrementar la capacidad de la red vial urbana, es sin discusión, una acción que aprovecha grandes extensiones abiertas con sembradíos de café en gran parte de su recorrido y adapta el entorno urbano con densa construcción, en beneficio del incremento de vías primarias que contribuyan a la operación expedita de una red vial desgastada y con niveles de capacidad bastante reducidos.

Con este tipo de acciones, se provee a los usuarios de una ruta con características de operación eficientes que impactan favorablemente la economía del país, ya que reduce los tiempos de viaje, el consumo de combustibles, y consecuentemente, las emisiones de gases contaminantes.

1.1 Justificación

El sector norte del Área Metropolitana de San José es uno de los más congestionados de la Ciudad, situación que se ha agravado con el crecimiento acelerado de la demanda del corredor Heredia – San José. La saturación de la vialidad del sector norte y noroeste es de tal magnitud, que en ciertos tramos la congestión se presenta no sólo en los periodos pico, sino que también se prolonga a otras horas del día.

La necesidad de una nueva vía que comunique mas eficientemente Heredia con San José se detectó desde hace más de 25 años. Sin embargo, su construcción no se llevó a cabo debido a falta de financiamiento. En 1991, el Plan Maestro de Transporte Urbano de la GAM, confirmó la necesidad de construir dicha radial, al concluir que la construcción de este proyecto sería de gran importancia en la trama vial del sector Norte de la ciudad de San José, permitiendo una mejor distribución de flujos y contribuyendo de esta forma a disminuir la congestión extrema en las horas pico con que operaba la red vial existente en ese entonces.

Desde el año 1993 el Estado costarricense cuenta con la herramienta jurídica que le permite realizar obras con la participación del sector privado, gracias a las facilidades que presenta la Ley General de Concesión de Obras Públicas con Servicios Públicos. En ese sentido el Gobierno de Costa Rica se interesó en promover la realización de los estudios y diseños que permitan determinar la factibilidad de desarrollar, bajo la modalidad de concesión, la construcción, conservación y operación de la nueva Radial Heredia.

La concesión de esta radial permitirá garantizar a los usuarios el disfrute de una ruta con altas especificaciones, mayor capacidad, superficie de rodamiento en buen estado y con buen

mantenimiento y señalamiento vial apropiado, así como de la operación segura en la carretera e intersecciones. Además, los usuarios del transporte público y los peatones podrán disfrutar de los beneficios de contar con bahías para autobuses y pasos peatonales a lo largo de todo el proyecto. Por otro lado, los usuarios que permanezcan en los corredores actuales se beneficiarán por la reducción en los grados de congestión, gracias a la entrada en operación de la Nueva Radial Heredia – San José.

1.2 Objetivos del estudio de demanda

Los objetivos específicos de este Estudio, de acuerdo con los Términos de Referencia, son los siguientes:

Definir y analizar alternativas de trazado horizontal, realizar estudios de prefactibilidad técnica, ambiental, económica y financiera, para establecer la alternativa óptima funcionando bajo la modalidad de concesión.

Hacer la estimación de la demanda en todo el corredor, establecer las estrategias de cobro de peajes y analizar el efecto de la operación de la vía sobre la red del área de influencia del proyecto.

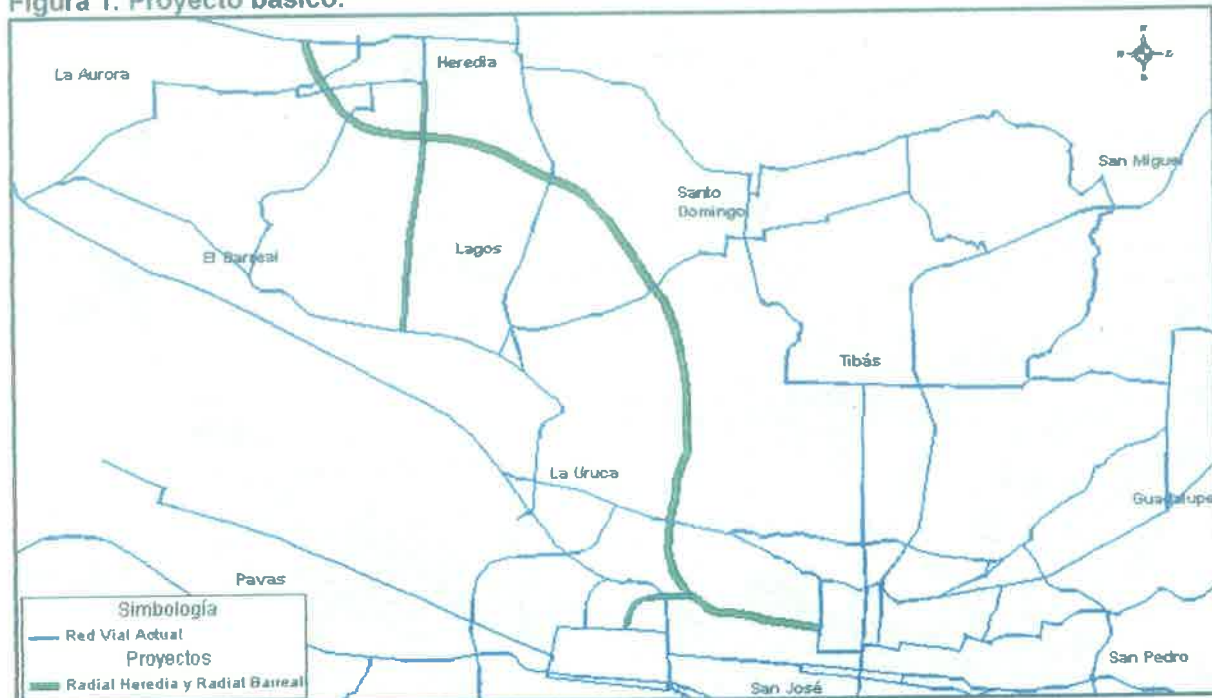
1.3 Evolución de la concepción del proyecto

El análisis de la red vial del Área Metropolitana de San José generó una serie de reflexiones relacionadas a la estructuración de un mejor sistema vial para la ciudad, que permita obtener mayor eficiencia en su funcionamiento. Estos análisis derivaron en la realización de algunos cambios en el diseño funcional de la Radial Heredia, con relación a su proyecto básico. Este apartado describe la evolución que ha tenido la concepción del proyecto durante el desarrollo del presente trabajo de factibilidad de la concesión.

1.3.1 Proyecto básico

El proyecto básico de la Radial Heredia, realizado en el año de 1976 por INDECA, es mostrado en la Figura 1. Se desarrolla desde el intercambio en San Francisco hasta su conexión en el centro de San José con la Avenida 7a.. El proyecto también incluye la Prolongación de la Avenida 7a. hasta su intersección con la Autopista General Cañas y su término en el Boulevard de las Américas en Sabana Norte. Posteriormente, se incluyó un tramo de la Radial Barreal.

Figura 1. Proyecto básico.



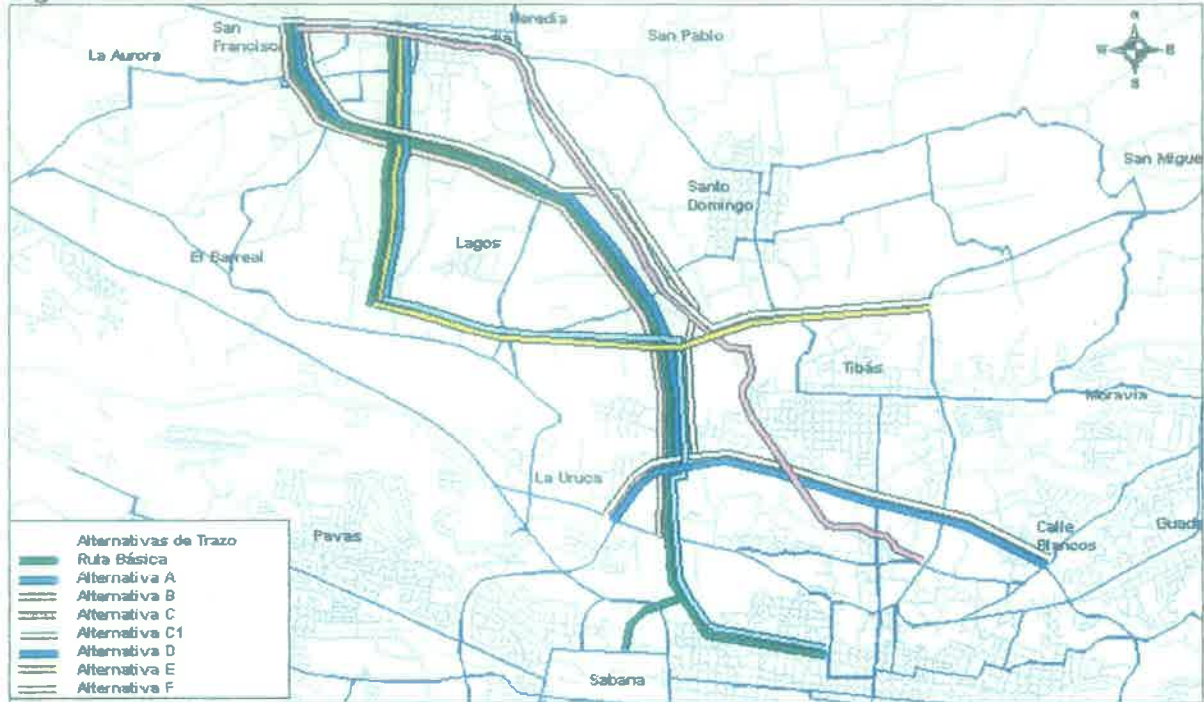
Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Selección de alternativas de trazo

Durante el periodo 1976-2000 y en la etapa inicial de este estudio, se han conformado nuevas alternativas de trazo que combinan parte de recorrido del proyecto básico con otras opciones de acceso a San José, utilizando en la mayoría de los casos la integración con otros proyectos viales como son el Periférico, la Avenida Circunvalación y la Radial Barreal, además de una variante siguiendo el trazo del ferrocarril y combinándose con las dos primeras vías citadas.

La primera etapa de este proyecto tuvo el objetivo de evaluar cada una de las alternativas de trazo incluidas en los términos de referencia del estudio y algunas variaciones propuestas por el Consultor, todas ellas relativamente equivalentes en términos de longitud total de construcción (Figura 2). El resultado de esta etapa es la recomendación de la solución que ofrece los mejores beneficios económicos y financieros a los habitantes del Gran Área Metropolitana de San José (GAM).

Figura 2. Alternativas de trazo analizadas

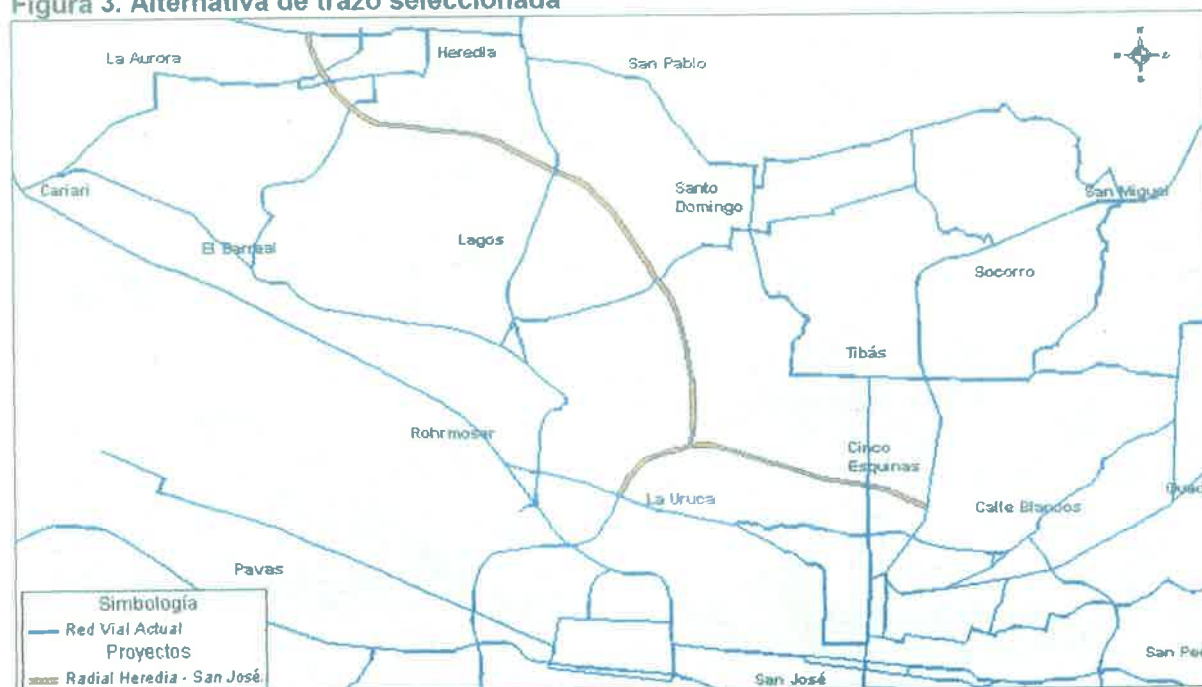


Fuente: Elaboración propia

Al evaluar las alternativas, con la utilización de un modelo de planeación de transporte, la que mostró mejor desempeño en términos de beneficios e ingresos fue la que combina Radial Heredia desde San Francisco hasta el intercambio con Av. Circunvalación, y la construcción del tramo Norte de esta vía, entre Radial Uruca y Braulio Carrillo¹ (Figura 3).

¹ Este trazado corresponde a las alternativas D y F, que son básicamente iguales a excepción de un cambio menor en el trazado. La decisión entre ellas benefició la D pues conlleva a menor cantidad de expropiaciones.

Figura 3. Alternativa de trazo seleccionada



Fuente: Elaboración propia

Esta alternativa presenta ingresos superiores a la básica en aproximadamente 10%, costos inferiores en un 20% y beneficios económicos superiores en un 40%. La disminución de costos obedece al reemplazo de la conexión con la Av. 7ª. por el arco norte de la Circunvalación, éste último con mayor facilidad de construcción y menos estructuras. El incremento de beneficios tan significativo de esta alternativa se debe, no solamente a los ahorros en tiempos y costos de operación de los usuarios que utilizan la vía entre Heredia y San José sino que, al completar la Avenida Circunvalación, se benefician significativamente los viajes de mediano y largo recorrido que se realizan en la zona norte de San José.

Una nota importante es que los datos utilizados para estimar la demanda de la Radial Heredia son provenientes de estudios de campo realizados por el Consultor en el año 2001, que consideraron estudios de origen destino sobre todas las vías que actualmente comunican Heredia y San José, conformando una línea pantalla. Esto permite tener un elevado nivel de precisión en la estimación de la demanda de este corredor.

Sin embargo, los usuarios adicionales de Circunvalación, que corresponden a los viajes de paso y de mediano a largo recorrido de San José, son estimados a partir de los datos actualizados de la matriz de origen destino del SIATGAM, un estudio de planeación realizado en el año 1990, que incorporó la realización de encuestas domiciliarias. El nivel de precisión de estos datos, comparados con los referentes a los usuarios de la Radial, es bastante inferior, además de no incorporar datos sobre el transporte de carga. Esta es una restricción que deberá ser tomada en cuenta en todo momento al analizar los resultados del presente estudio.

1.3.3 Configuración ideal del sistema

Al analizar el comportamiento de los flujos vehiculares y su distribución por la red vial, se definió la configuración considerada la más idónea para atender de forma eficiente los flujos vehiculares entre Heredia y San José, así como los viajes de largo itinerario que se realizan al Norte de San José.

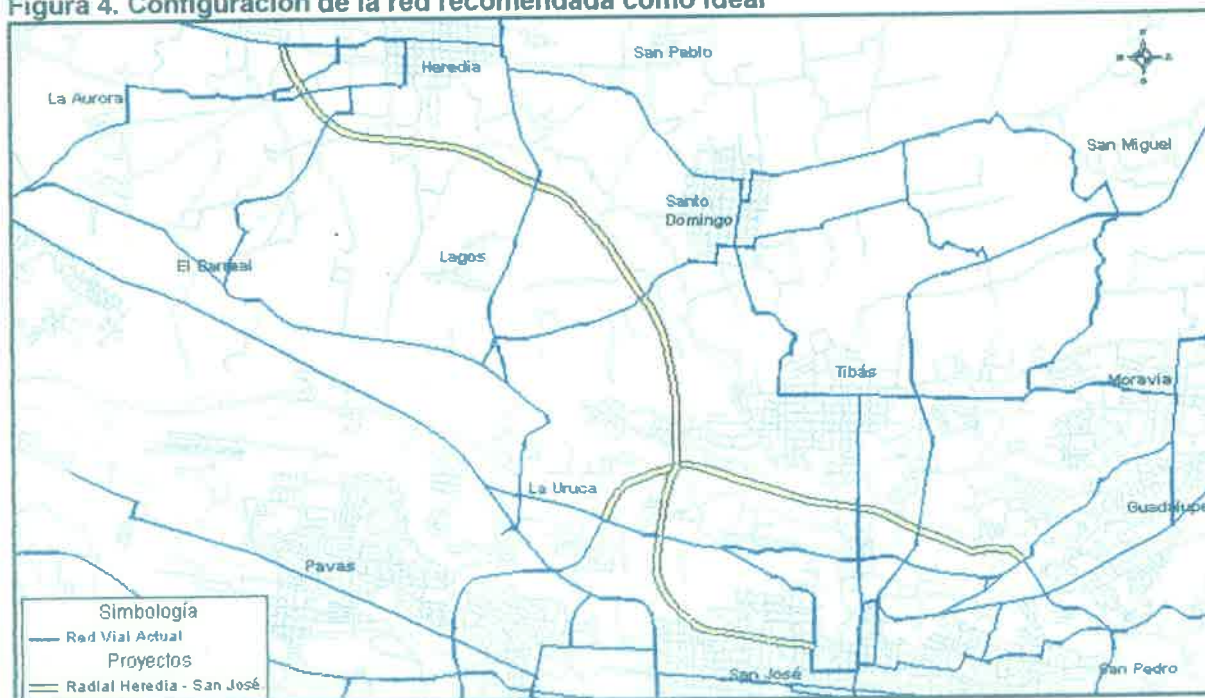
Considerando la alternativa de trazo seleccionada (Figura 3), los viajes de Heredia tienen acceso al centro de San José utilizando la Av. Circunvalación combinada con Braulio Carrillo (hacia el oriente) o Autopista General Cañas (hacia el poniente).

Al realizar la siguiente etapa del proyecto, en la cual se analizó con detenimiento la circulación en la Radial Heredia y las vías aledañas, se detectaron restricciones fuertes de capacidad en los accesos a San José, debido a la capacidad de las vías Braulio Carrillo y Autopista General Cañas. Una solución para disminuir este problema consiste en ofrecer al usuario una alternativa adicional de acceso, que permita distribuir el volumen vehicular de la Radial Heredia.

Como un porcentaje importante de los viajes generados en Heredia tienen su otro extremo en el centro de San José, una solución de buena efectividad es la construcción del tramo de la Radial propuesto en el trazo básico, entre Av. Circunvalación y hasta la Avenida 7a. (Figura 4). Con esto, se conforma la configuración recomendada como la más adecuada para la circulación del GAM en general². Otro tramo de importancia significativa para el mejor funcionamiento del sistema es la construcción de Av. Circunvalación entre Braulio Carrillo y Calle Blancos, pues permite cerrar el anillo vial.

Bajo el punto de vista de funcionamiento de la red vial, este escenario otorga mayores beneficios no sólo a la sociedad, en cuanto a ahorros de tiempo y costos de operación, sino que beneficia también al concesionario que opere la vía, pues permite captar mayor demanda. A través de la realización de evaluaciones económicas y financieras, que serán presentadas en el apartado correspondiente, se llega a la recomendación de el momento más adecuado para incorporar el tramo de la Av. 7a. al proyecto y evaluar la factibilidad de incorporar el tramo de Calle Blancos al proyecto.

Figura 4. Configuración de la red recomendada como ideal



Fuente: Elaboración propia

² Nótese que la operación de la alternativa básica sin los tramos correspondientes a Circunvalación concentraría todo el flujo del corredor en la región de la Av. Uruca y Av. 7a., ocasionando problemas bastante serios de congestión en el área. Lo importante de la configuración recomendada es que permite distribuir los flujos en varios accesos.

1.4 Selección de los tramos de diseño

Los términos de referencia del presente estudio limitan la longitud del diseño de la vía a un total de 11 kilómetros como máximo, valor considerado por el Consultor en su propuesta técnica y económica. Sin embargo, la longitud total de la red ideal supera los 14 kilómetros, por lo que fue necesario seleccionar los tramos para los cuales se realizó el diseño a nivel de factibilidad, respetando el límite superior de 11 kilómetros.

La selección de los tramos obedeció al criterio de tener un proyecto funcionalmente completo, con por lo menos dos accesos a San José, y que permitiera el mayor beneficio económico y financiero a la ciudad. Bajo estos criterios, el diseño se realizó para la alternativa de trazo seleccionada, que suma un total de 11 kilómetros.

Para completar la configuración ideal, por lo tanto, faltan el prediseño y el estudio de factibilidad de los tramos Av. Circunvalación – Av. 7a. y Braulio Carrillo – Calle Blancos, los cuales se han considerado para una segunda etapa constructiva. A nivel de prefactibilidad, se estimaron los costos de estos tramos, lo que se utilizó como insumo para evaluar el mejor momento para su incorporación a la concesión.

1.5 Diseño funcional

El papel de la Radial Heredia es comunicar a Heredia con San José, ofreciendo a los viajeros mejores condiciones de circulación que las alternativas existentes. Uno de los puntos fundamentales en su operación será la distribución de los flujos provenientes de esta vía al llegar a San José, pues además de la zona centro, existen polos de actividad importante en el este y oeste de San José que se han generado en los últimos años y a los cuales se dirige un porcentaje significativo del tránsito.

La Avenida Circunvalación, por su lado, es una vía perimetral que conformará un anillo alrededor de San José, cuando su construcción se encuentre completada. Actualmente, están en operación los tramos sur, oriental y occidental, faltando la construcción del arco Norte para cerrar el anillo.

Circunvalación deberá cumplir con el importante papel de evitar el paso por la red interna de San José de los viajes que no tienen su origen o destino en esta zona, favoreciendo especialmente los desplazamientos este-oeste, que son los que actualmente se realizan con mayor dificultad.

Los vehículos pesados que circulan por la zona norte de San José, especialmente en la Radial Uruca, en buena medida deberán utilizar Circunvalación, por las características de sus viajes y, posiblemente, por reglamentación específica. Esto permitirá que el tránsito interno de la ciudad tenga menor interferencia de este tipo de vehículos.

De forma compatible con las funciones anteriores y a través de las especificaciones de diseño, el proyecto en análisis deberá apoyar la separación de flujos vehiculares de diferentes características de acuerdo a la jerarquía vial, que actualmente es bastante deficiente; formando parte de una estrategia para lograr el funcionamiento más eficiente del sistema.

Como consecuencia de este ordenamiento en la zona norte de la ciudad se puede esperar:

Disminución considerable en el tiempo de recorrido de viajes de paso que no inician o terminan en el centro urbano de San José;

Decremento considerable del nivel de congestionamiento que algunas vías como la Radial Uruca, Paseo Colón y la Avenida Diez presentan actualmente.

Un aspecto fundamental en el diseño funcional de la vía es el hecho de que, debido a decisiones de prioridad de asignación del presupuesto del país, se ha concebido la ejecución de este proyecto como una concesión, donde el cobro de peaje es la fuente de repago al inversionista privado. Para el adecuado funcionamiento de una vía de estas características, todos los usuarios deberán pagar peaje, lo que exige que ésta sea de acceso controlado en esta extensión.

Con base en lo anterior el proyecto se dividió en dos sectores que se describen a continuación:

Sector 1- Radial Heredia – San José

La Radial Heredia – San José iniciará en su primera etapa, en el empalme con la Avenida de Circunvalación, aproximadamente en el kilómetro 1 de esta última, unos 290 m al sur de la calle Florentino Castro. A partir de este punto seguirá hacia el norte pasando por el barrio León XIII, la calle Florentino Castro y el Río Virilla, continúa hacia el norte en dirección a Santa Rosa, cruza la vía que comunica a Santa Rosa con La Valencia y la calle San Martín, cruza el Río Bermúdez muy cerca del ferrocarril y sigue por zonas de cafetales hasta llegar a la entrada a Heredia por la Vía de Los Lagos, la cual cruza a la altura del Price Smart de Heredia; posteriormente gira hacia el oeste cruzando las quebradas Granada y Tropical, continúa por el sur de Heredia en dirección hacia el oeste pasando por varias zonas de nuevas urbanizaciones y finalmente, se conecta con la vía que comunica Heredia con Alajuela en San Francisco, con una longitud aproximada de 6.90 km, sin incluir las rampas de las intersecciones. Para una segunda etapa, se ha previsto la conexión entre el origen de la Radial y la prolongación de la Avenida 7ª, la cual se iniciará en el barrio Pitahaya y seguirá hacia el oeste y posteriormente hacia el norte, siguiendo el cauce de la Quebrada Lantisco y del Río Torres hasta cruzar la Radial Uruca muy cerca de la Plaza del mismo nombre; para posteriormente seguir hasta la intersección con la Avenida de Circunvalación.

Sector 2 - Arco norte de la Avenida de Circunvalación

El arco norte de la Avenida de Circunvalación se inicia en la actual intersección de esa Avenida con la de La Uruca, posteriormente tiene un giro hacia el este, cruza la quebrada Rivera y la vía que lleva al barrio León XIII, sigue hacia el este hasta pasar por la escuela Rafael Vargas y cruza el ferrocarril con un paso a desnivel, continúa hasta cruzar la calle del pantano y la vía a Cinco Esquinas y finalmente llega, en su primera etapa, hasta la Autopista Braulio Carrillo, donde se ha previsto un cruce elevado. Este tramo tiene una longitud de 3.72 Km. En todos los cruces mencionados se han previsto pasos a desnivel. Para una etapa posterior, se ha previsto hacer el tramo faltante, de cerca de 800 metros, para completar el anillo de la Circunvalación hasta Calle Blancos. Para este último tramo se ha estudiado la posibilidad de hacer un par vial, al menos inicialmente; lo anterior debido a la ocupación urbana del corredor.

La configuración del proyecto incluye la operación de los siguientes intercambios:

- Radial Heredia con Ruta No. 3 en San Francisco
- Radial Heredia con Ruta No.3 en Lagos (o Price Smart, o la Esperanza)
- Radial Heredia con Ruta No. 103 en Santa Rosa
- Radial Heredia con Avenida de Circunvalación
- Radial Heredia con Prolongación Avenida 7a
- Circunvalación con Autopista Braulio Carrillo
- Circunvalación en Calle Blancos

Esta configuración considera la eliminación de algunos intercambios y conexiones considerados en los diseños básicos de l proyecto, con el objetivo de lograr que la Radial Heredia y Circunvalación concentren los flujos correspondientes a vías de mayor jerarquía vial:

1.5.1 Intercambios Radial Heredia - Radial Uruca y Circunvalación –Radial Uruca

Objetivos: Separar el tránsito del sistema Radial – Circunvalación del tránsito local de la Radial Uruca, evitando el tránsito de viajes de paso por esta vía. Esto ocasionará un mejoramiento de las condiciones de circulación de la Uruca, que presenta fuertes demoras por sus niveles de congestión actuales. Además, se evitarán costos importantes de expropiación en el primer caso y conflictos de operación vial en el segundo, debido a la proximidad con la intersección Circunvalación y General Cañas (solamente 550 metros, aproximadamente).

1.5.2 Conexión entre Prolongación Avenida 7a. y Autopista General Cañas

Objetivos: Evitar inyectar más tránsito a la intersección entre Boulevard Las Américas y Calle 42 en la Sabana, pues este punto actualmente ya es conflictivo. Además, reducir costos de construcción, pues este tramo es muy costoso por lo accidentado del terreno y por el poco espacio disponible.

Con esta determinación de intercambios, quedan definidos los siguientes tramos en el funcionamiento de la vía:

Tabla 1. Tramos de la vía a concesionar

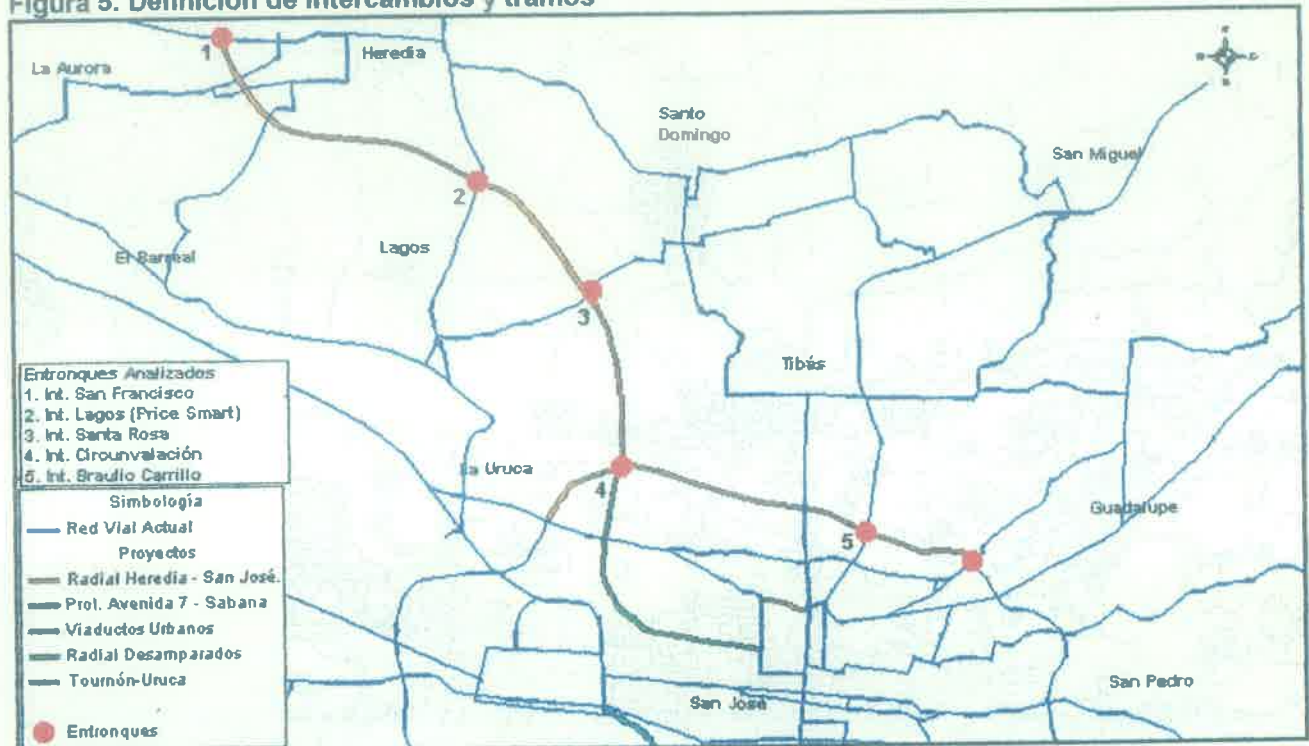
| Vía | Tramo |
|----------------|-----------------------------------|
| Radial Heredia | San Francisco – Lagos |
| Radial Heredia | Lagos - Santa Rosa |
| Radial Heredia | Santa Rosa - Circunvalación |
| Radial Heredia | Circunvalación – Av. 7a. |
| Circunvalación | Radial Uruca - Radial Heredia |
| Circunvalación | Radial Heredia – Braulio Carrillo |
| Circunvalación | Braulio Carrillo – Calle Blancos |

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 ilustra la definición de intercambios y tramos de la vía.



Figura 5. Definición de intercambios y tramos



Fuente: Elaboración propia

Además, se restringieron algunos movimientos en el intercambio de Lagos y Circunvalación:

1.5.3 Intercambio Lagos: movimientos Lagos –San Francisco

Objetivos: Impedir que la Radial sea utilizada como vía periférica al centro de Heredia, lo que ocasionaría incremento en el flujo vehicular de este tramo por viajes cortos, que ocasionarían un desmejoramiento en la condición de circulación de los usuarios principales de la vía. Por otro lado, el flujo que captaría como una vía periférica no justifica el establecimiento de casetas de peaje, ya que no se podrían cubrir los costos de operación de las mismas con el flujo captado (Figura 6)

1.5.4 Intercambio Circunvalación: movimientos Circunvalación Oriente – Av. 7

Objetivos: Este movimiento fue restringido debido a limitaciones de espacio para construir este tramo. Así mismo, un análisis comparativo mostró que el aforo adicional proporcionado por este movimiento no cubriría los costos de inversión para dicha gasa (ver Figura 7)

Figura 6. Movimientos restringidos - intercambio Braulio Carrillo



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Movimientos restringidos - intercambio Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

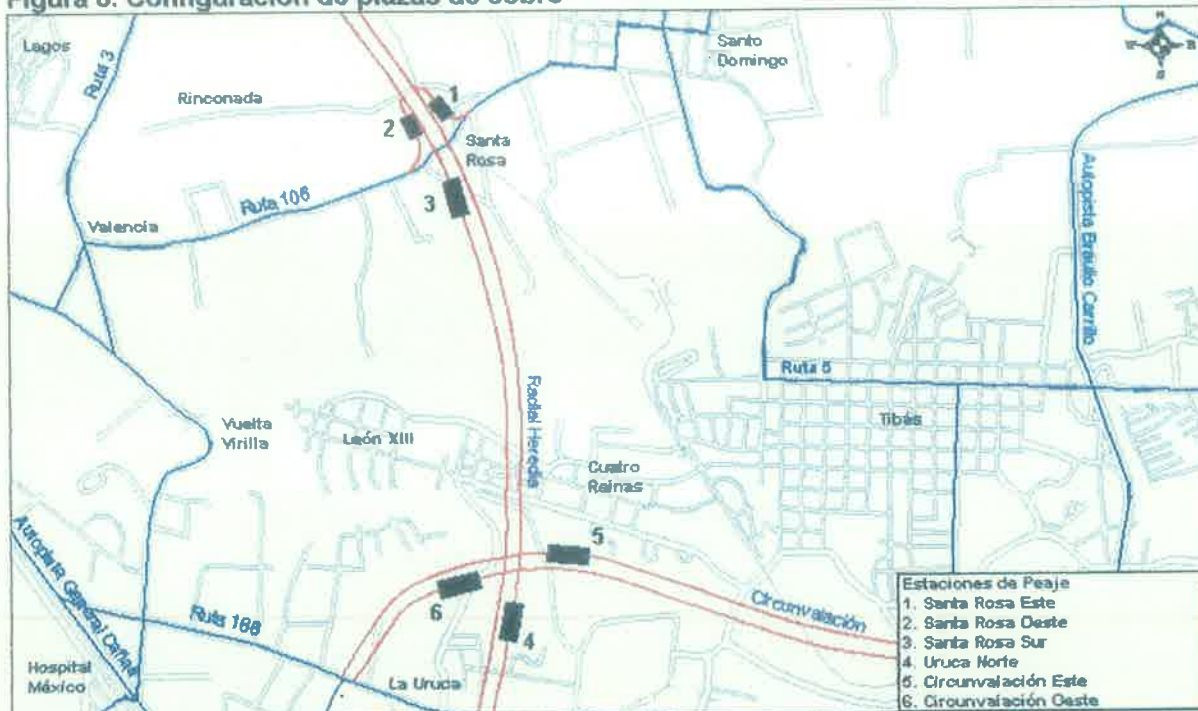
En siguiente paso consistió en plantear un esquema de ubicación de casetas para realizar el cobro del peaje, basado en los siguientes principios:

Localizar las plazas de cobro de tal forma que todos los usuarios de la vía tengan que pagar peaje por su utilización, haciendo claro el concepto de vía de cuota

Ofrecer el mejor nivel de servicio posible al usuario, evitando que el usuario se detenga más de una vez en el trayecto para el pago del peaje;
 Mantener el menor nivel posible de costos de instalación y operación para el operador de la vía, cumpliendo las condiciones anteriores.
 La ubicación de una plaza de peaje deberá posibilitar la recaudación de suficientes fondos para su operación, o en su defecto, cumplir con una función importante con relación al objetivo principal de la vía.

A partir de estas consideraciones, se llegó a la recomendación del establecimiento de 6 (seis) plazas de cobro de peaje en el sistema Radial Heredia-Circunvalación (Figura 8).

Figura 8. Configuración de plazas de cobro



Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración el diseño básico de la vía y la disposición de las casetas de peajes, se calculó la demanda para la hora de pico de la mañana de cada año horizonte de proyecto, utilizando un proceso de modelación con el paquete EMME/2. Se estimaron también los volúmenes críticos por tramo, el tránsito diario medio anual y los ingresos de la vía. La siguiente tabla muestra los principales resultados a lo largo del periodo de análisis.

Tabla 1.2. Resultados de estimación de demanda

| | Año de Análisis | | | | | TCMA ⁽¹⁾ (%) |
|---|-----------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------|
| | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 | |
| TDPA | 13,932 | 17,079 | 23,196 | 15,704 | 21,483 | 2.19 |
| Tramo más Cargado (Santa Rosa - Circunvalación) | 1,062 | 1,346 | 1,721 | 1,560 | 2,183 | 3.67 |
| Ingreso Bruto Anual en US\$ ⁽²⁾ | 12,043,133 | 14,986,812 | 20,521,545 | 16,207,438 | 22,125,788 | 3.09 |

Notas: ⁽¹⁾ TCMA: Tasa Compuesta de Crecimiento Medio Anual 2001 a 2026.

⁽²⁾ Estaciones de Peaje: Santa Rosa Este, Santa Rosa Oeste, León XIII Sur y Uruca Norte.

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se realizó un análisis de sensibilidad que permitió estimar la tarifa óptima para el proyecto, considerada como aquella que resultó en los mayores ingresos para el concesionario. Esta resultó ser de 400 colones para vehículos ligeros. Para los vehículos pesados, se encontraron valores 1.66 veces la de los automóviles para camiones de 2 y 3 ejes y de 1.33 veces para camiones con mayor número de ejes. Estas relaciones son muy bajas, pues en general los vehículos de carga reportan valores del tiempo bajos para viajes de corto itinerario.

Analizando la estructura de cobro de peajes de otras autopistas, especialmente en los casos en los cuales se busca incentivar la utilización de vehículos de carga, se llegó a la recomendación de una estructura del tipo 1:2:3 (vehículos livianos, camiones de 2 y 3 ejes, camiones de 4 y más ejes). Es muy importante tener presente que los análisis realizados tienen validez limitada, debido al hecho de que no se cuentan con datos de vehículos de carga sobre Circunvalación, que es el tramo que seguramente tiene la mayor cantidad de demanda potencial de para este tipo de vehículo.

La demanda estimada a partir del modelo de simulación se utilizó como base para el análisis de capacidad y diseño del número de carriles de los tramos e intersecciones del proyecto. El criterio básico para el diseño fue mantener un nivel de servicio C hasta el año 2026.

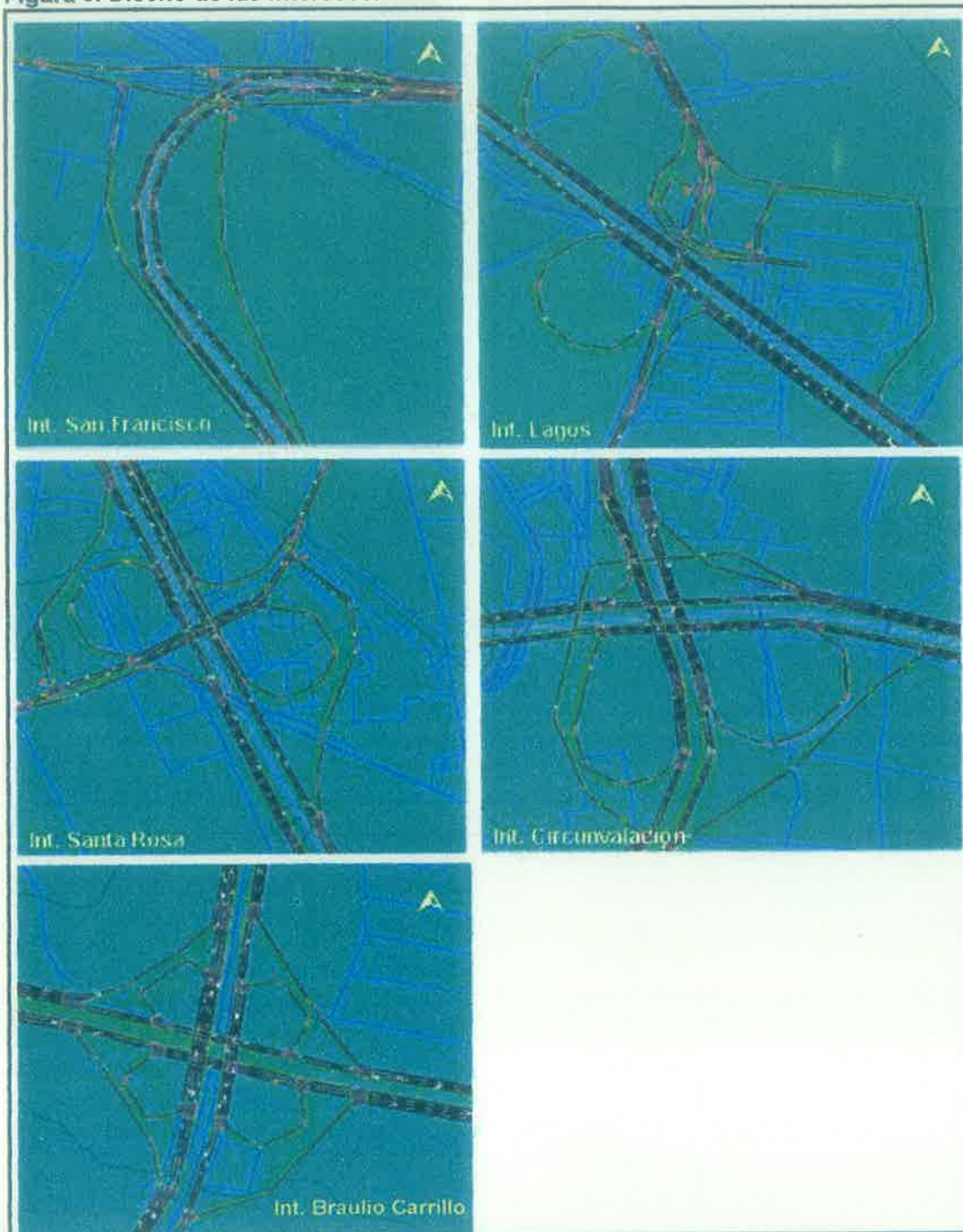
La Tabla 3 muestra el número de carriles por tramo y la Figura 9, el diseño de las intersecciones, resultantes del proceso de análisis de capacidad.

Tabla 3. Número de carriles por tramo

| Tramo | Descripción | Volumen | Carriles |
|-------|-----------------------------------|---------|----------|
| 1 | San Francisco – Lagos | 1,412 | 2 |
| 2 | Lagos – Santa Rosa | 1,724 | 2 |
| 3 | Santa Rosa – Circunvalación | 2,220 | 3 |
| 4 | Circunvalación – Avenida 7a | 1,397 | 2 |
| 5 | Radial Uruca – Radial Heredia | 2,055 | 3 |
| 6 | Radial Heredia – Braulio Carrillo | 2,080 | 3 |
| 7 | Braulio Carrillo – Calle Blancos | 1,223 | 2 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Diseño de las intersecciones



Fuente: Elaboración Propia

La etapa final consistió en emitir algunas recomendaciones acerca del sistema de cobro, con relación a la tecnología y el número de casetas en cada plaza. Debido a los altos volúmenes vehiculares que se estima utilizarán la vía en el año 2026, será necesario migrar progresivamente a tecnologías de cobro electrónico, por lo que se considera adecuado la operación con casetas de tipo mixto, que permitan tanto el cobro manual como el automático, con una capacidad intermedia entre los dos sistemas. Este tipo de tecnología es especialmente importante para la transición entre los sistemas manual y electrónico.

A partir de estas consideraciones se estimó el número de casetas necesarias en cada plaza de peaje, para el año 2026.

Tabla 4. Número de casetas requeridas en el año 2026

| Estación de peaje | Recaudo Manual | Sistema Recomendado |
|-------------------|----------------|------------------------------|
| | | Manual – Mixto – Electrónico |
| Santa Rosa Este | 2 | 0 – 1 – 0 |
| Santa Rosa Oeste | 2 | 0 – 1 – 0 |
| León XIII | 10 | 2 – 2 – 1 |
| Uruca Norte | 10 | 2 – 2 – 1 |

Fuente: Elaboración propia

Con relación a la tecnología, se recomienda la instalación de una solución de rango medio, que permite la incorporación de IAV y telepeaje a lo largo del tiempo, además de proporcionar niveles de seguridad más elevados en las operaciones.

2 METODOLOGÍA GENERAL

La metodología general empleada para la estimación de la demanda de la Radial Heredia – San José se muestra en la Figura 1, en la cual se observan las fases de ejecución del estudio de tránsito y la relación entre ellas. En este capítulo se comentará brevemente sobre cada uno de los componentes de la metodología y en los capítulos subsecuentes se realiza una descripción detallada de cada uno de ellos.

2.1 Determinación del área de influencia y zonificación

La primera etapa del estudio consistió en la determinación de la zona de influencia del estudio, que fue considerada como toda la Gran Área Metropolitana del Valle Central, debido a la interrelación entre la zona de influencia directa del proyecto (Heredia, Santo Domingo y norte de San José) y el resto del GAM.

Una vez definida el área de estudio, se realizó la zonificación de la misma, definiéndose las zonas de tránsito homogéneas con respecto a las características socioeconómicas y de usos del suelo. Otro factor importante en la definición de la zonificación fue la accesibilidad a la vía de proyecto.

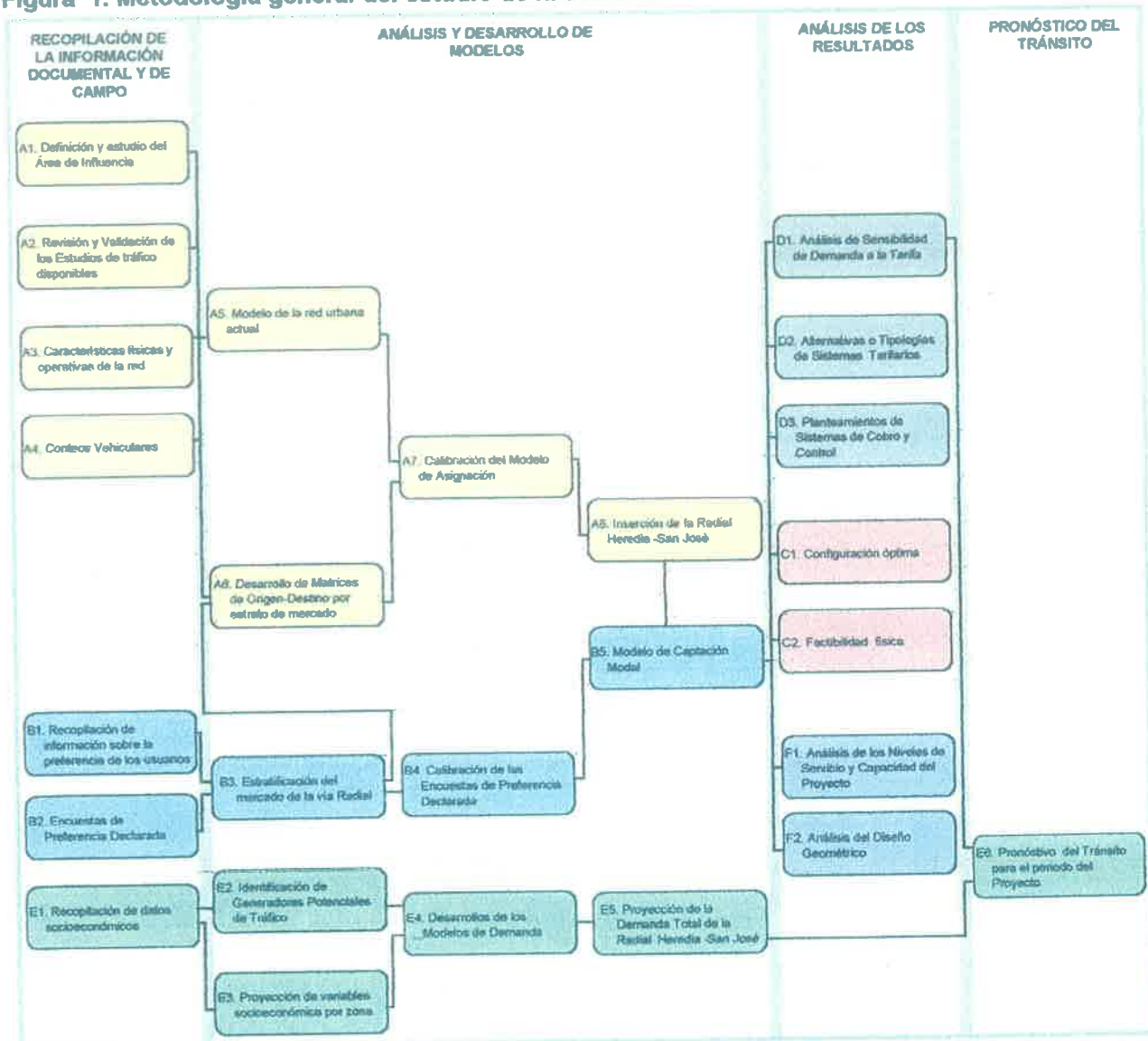
2.2 Recopilación de la información documental y de campo

Esta etapa abarca la recopilación de los datos que permite formar una base de datos sólida para el desarrollo del estudio. Son recopilados datos referentes a las siguientes componentes:

Información Documental:

- Datos socioeconómicos: recopilación de los principales datos que influyen directamente la generación de viajes: población, actividad socioeconómica, fuerza laboral y empleo y registro automotor.
- Estudios anteriores respecto a esta vía, planes y programas de desarrollo; recopilación de información sobre datos históricos del tránsito.
- Diseño y conceptualización de la operación de la Radial: recopilación de características de la nueva vía y la forma como se planea su operación, enfocando el hecho de que será una vía urbana con pago de peaje.
- Red vial: número de carriles, sentidos de circulación, clasificación vial, ubicación de semáforos, velocidad de operación, volúmenes vehiculares y las obras planeadas para los horizontes futuros de modelación.
- Proyección de variables socioeconómicas, con el fin de estimar el crecimiento de las variables recopiladas para los años futuros de modelación (2006, 2011, 2016, 2021 y 2026).
- Matriz de viajes del estudio de SIATGAM 1990 y su proyección al 2000.

Figura 1. Metodología general del estudio de la demanda



Fuente: Elaboración propia

Información de campo:

- Datos de aforos o conteos vehiculares en el área de influencia; levantados para conocer el comportamiento actual del tránsito sobre la red vial.
- Datos de origen – destino levantados directamente sobre las vías que conectan a Heredia y San José: para vehículos privados y de transporte de carga, que son los principales usuarios potenciales de la Radial Heredia – San José. El transporte público de pasajeros no fue considerado en este estudio, debido a que este tipo de servicio en general no utiliza las autopistas. En caso de que se acuerde que el transporte público transite por la nueva vía (lo que merece un estudio especial para verificar su factibilidad), éste deberá cumplir con condiciones especiales de operación para que sean acordes con las características de la vía - rutas expresas, con frecuencias definidas y un mínimo de paradas sobre la Radial.

- **Preferencia de los usuarios:** datos referentes a la disponibilidad para el pago de una tarifa a cambio de ahorros en tiempo y de la existencia de servicios en la vía, caracterizando los usuarios por motivo de viaje y características socioeconómicas, obtenidos a partir de la aplicación de encuestas de preferencia declarada.

2.3 Análisis de la información

Una vez recopilada la información el paso siguiente fue la revisión, validación, codificación y captura de la información. Todas estas etapas permiten el control de calidad de la información, lo que redundará en la obtención de datos con un buen nivel de confiabilidad.

El proceso de análisis de la información considera lo siguiente:

- **Características físicas y operativas de la red de influencia:** Se analizaron aspectos tales como número de carriles, ancho de carril, longitud, características del pavimento, velocidades de recorrido, capacidad y niveles de servicio.
- **Comportamiento histórico del tránsito:** Tomando como base la información que el MOPT proporcionó en este aspecto, se procedió al análisis de la tendencia histórica del tránsito en diferentes puntos del área de influencia.
- **Características actuales del tránsito:** Mediante aforos históricos y actuales se estableció el comportamiento diario y horario de la red de influencia. Lo anterior nos permitió establecer los días con mayor flujo y las horas de máxima demanda, respectivamente. Además de calcular los factores de expansión de la muestra obtenida en la encuesta origen -- destino.
- **Características de los viajes:** Se analizaron las encuestas origen -- destino para establecer las principales líneas de deseo, motivos de viaje, características de la carga en el caso de camiones y la ocupación por tipo de vehículo.
- **Valor del tiempo de los usuarios:** Mediante la encuesta de preferencia, se estimaron ecuaciones que revelan el valor del tiempo de los usuarios que actualmente utilizan las rutas entre San José y Heredia.

2.4 Elaboración y calibración de modelos

Esta fase del estudio consiste en la elaboración de modelos que permitan representar el comportamiento de la demanda y el funcionamiento actual de la red vial y proyectar su comportamiento futuro. Para esto, es necesaria la elaboración de los siguientes componentes:

- **Elaboración de la base de Datos en TransCAD²:** Esta actividad tiene como propósito el diseño y elaboración de la base de datos, con las características físicas y operativas de la red de influencia en el Sistema de Información Geográfica (TransCAD).
- **Modelo de la red vial actual y futura:** representación de las vías de la ciudad por un conjunto de nodos y enlaces, a los cuales se les asocia una base de datos con las respectivas características físicas y operativas. Este modelo debe ser calibrado para que, al asignarle la demanda, efectivamente reproduzca, con buen nivel de aproximación, los tiempos y volúmenes actuales, que son medidos en la etapa de recopilación para el análisis de los años futuros. Para analizar el impacto de la construcción de nueva infraestructura y/o "medidas" operativas se representaron las obras planeadas para los diferentes horizontes de modelación.

² TransCAD es un Sistema de Información Geográfica desarrollado por CALIPER, el cual permite el manejo de información geográfica con una base de datos atributiva asociada.

En el sistema de planeación del transporte (EMME/2³) se introduce la información de la infraestructura planeada con sus características físicas y operativas, para cada horizonte de planeación.

- Modelos de demanda: representación de los orígenes y destinos de los viajes a través de matrices. Para caracterizar los usuarios de vehículos privados, se utilizaron matrices por motivo de viaje (trabajo y otros) y estrato socioeconómico (estratos bajo, medio y alto). Los vehículos de carga se clasificaron en camiones medianos y furgones.
- Modelos de selección de ruta (preferencia de los usuarios): utilizando los resultados de la encuesta de preferencia declarada, se calibran funciones de utilidad para cada estrato de la demanda (según el motivo de viaje y estrato socioeconómico). Estas funciones representan la importancia del ahorro en tiempo, del costo y de la disponibilidad de servicios en la vía en la decisión de los usuarios sobre la ruta que utilizarán.
- Modelos de generación y distribución de viajes: el número de viajes futuros entre las diversas zonas de tránsito es una variable de difícil pronóstico, pero que se relaciona estrechamente con el crecimiento de la población y de la actividad económica. Por este motivo, se ajustan modelos que permiten pronosticar el número de viajes producidos / atraídos por cada zona a partir de las variables socioeconómicas (modelos de generación). Posteriormente se distribuyen los totales de viajes pronosticados para cada zona de tránsito entre los diversos pares origen -- destino.
- Modelo de asignación de tránsito: se utiliza el modelo de la red vial calibrado y las matrices de origen -- destino para estimar, para la situación actual los tiempos de viaje y las tarifas pagadas por el concepto de peaje. Luego, se realiza la asignación a la red vial para los escenarios futuros, donde se representa la operación de la Radial Heredia – San José, estimando tiempos y tarifas.
Las utilidades de cada ruta se aplican a un modelo de tipo LOGIT, que permite estimar el porcentaje de usuarios potenciales que utilizará la nueva vía, para cada par de origen destino, por estrato de demanda.

2.5 Pronóstico de la demanda

Utilizando el modelo de la red vial futura y el pronóstico de las matrices de viaje para cada año considerado en la modelación, se realizan los procedimientos de selección entre las rutas tradicionales y la Radial para obtener el pronóstico de la demanda para cada escenario considerado.

En esta etapa se incluyen los análisis de sensibilidad a la tarifa, que consisten en la elaboración de diversos escenarios alternativos de oferta (en el caso de este proyecto), para los cuales se verifican el efecto de diferentes niveles de desarrollo de la malla vial futura de la ciudad, o de cambios en la estructura de cobro y el valor de peaje.

2.6 Análisis de capacidad

Los volúmenes vehiculares resultantes de las asignaciones de tránsito a la Radial Heredia – San José son utilizados para realizar el análisis de capacidad de sus diversos tramos, así como de los

³ El EMME/2 es un software desarrollado por la empresa canadiense INRO, el cual es una herramienta que facilita el diseño y operación de modelos de planeación del transporte. EMME/2 es uno de los programas de planeación del transporte más empleado en el ámbito internacional por organismos públicos y privados. Para mayor información del programa consultar página web: <http://www.inro.ca/>

enlaces con otras vías. En los casos en que se detectaron problemas de capacidad, se elaboraron las recomendaciones pertinentes.

2.7 Sistemas de peaje

Aborda el tema de los sistemas disponibles para la operación de las estaciones de peaje, tomando en consideración que la Radial es una vía con un trayecto urbano, en el cual los volúmenes de tráfico son elevados, lo que conlleva a la necesidad de utilizar tecnologías adecuadas para ofrecer buenos niveles de servicio.

3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL

En este capítulo se menciona la información obtenida y analizada sobre análisis o estudios relacionados con la planificación, administración y gestión del sistema de transporte, específicamente sobre la Radial Heredia – San José, que se hayan realizado en la GAM en los últimos años.

3.1 Estudios anteriores

Los estudios relacionados con el proyecto Radial Heredia – San José se comentan brevemente a continuación:

1. "Diseño Radial Heredia"

Realizado por INDECA, Ltda, en 1973-76 para el MOPT. El proyecto de la Radial Heredia – San José tiene alrededor de 28 años de existencia. Desde el año 1973 el MOPT inició los estudios respectivos para el diseño de una nueva radial entre San José y Heredia, con el objeto de aliviar la congestión prevista en este corredor. Esta radial iniciaría con la prolongación de la Avenida Séptima del centro de San José, con conexión en La Sabana norte, y finalizaría en el sector sur del centro urbano de Heredia, conocido como San Francisco.

El proyecto original propone una autopista de cuatro carriles, dos en cada sentido, separados físicamente en casi toda su extensión por una isla central, y la ampliación de la Avenida Séptima consistiría en una vía de dos carriles por sentido, sin separación física central. La prolongación prevista interceptaría la Autopista General Cañas y llegaría hasta La Sabana, en su sector norte, a un costado del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Los documentos disponibles de este estudio fueron planos del trazado inicial de la vía y de las intersecciones planeadas en ese entonces a lo largo del recorrido

2. "Estudio del Transporte Urbano del GAM (ETUGAM)"

Publicado entre 1990 y 1991 por el MOPT y la Dirección General de Planificación, fue parte de un nuevo Plan Regional Metropolitano publicado en 1991. El ETUGAM consistió en realizar un estudio que determinara las características del transporte, así como analizar los problemas actuales y plantear sus posibles soluciones. Como parte del ETUGAM, se realizaron encuestas a hogares para determinar la generación de viajes y definir sus diferentes características. La zonificación utilizada en este estudio está basada en la zonificación hecha en el ETUGAM.

Como parte del ETUGAM, se realizó el Sistema de Análisis del Transporte en el GAM (SIATGAM). El SIATGAM es el análisis del sistema de transporte del GAM mediante el programa de cómputo de planeación secuencial TRANPLAN. El SIATGAM consta de diferentes módulos mediante los cuales se realiza la planeación secuencial del sistema de transporte. El SIATGAM incluyó tanto transporte privado como público.

De este estudio se recopilaron las matrices de viajes, basadas en la zonificación del ETUGAM, las cuales incluyeron los viajes en automóvil estratificados por los motivos de viaje: trabajo, estudio y otros. También se obtuvo el archivo con la red vial con los diferentes atributos empleados por el MOPT. Los atributos que la red obtenidos por parte del MOPT son:

- Longitud del tramo
- Número de carriles por sentido
- Capacidad (vehículos por hora)
- Sentido de circulación
- Velocidad de recorrido y
- Tipo de carretera

Los archivos obtenidos de la red vial obtenidos por el MOPT debieron ser exportados de la base de datos del TRANPLAN para después ser utilizados en el Sistema de Información Geográfica (TRANSCAD) y luego exportarlos en EMME/2.

3. "Plan Regional Metropolitano (GAM)"

Publicado en 1983 por la Oficina de Planeamiento del Área Metropolitana (OPAM), dependencia del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). El Plan Regional Metropolitano muestra un plan de ordenamiento urbano para el área del Valle Central. En este documento se presentan características de los diferentes sectores productivos, sociales y de apoyo. Los sectores productivos incluyen el sector industrial y agropecuario, en los sociales incluyen características de habitación, salud, educación, recreación y ambiental. Finalmente, en el sector de apoyo, se incluyeron los sectores energético, comunicaciones, comercio y gobierno.

El Plan Regional Metropolitano la propuesta para la realización de diferentes proyectos, entre los cuales se incluyen el Anillo Periférico, la Autopista San José – Guápiles – Limón, la Autopista Santa Ana – Colón – Caldera, y la Autopista a Cartago. Este documento también incluye la distribución de usos de suelo en el GAM y el establecimiento de zonas para uso industrial exclusivo.

4. "Zonas Industriales Gran Área Metropolitana"

Publicado en 1985 por la Oficina de Planeamiento del Área Metropolitana (OPAM), dependencia del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). Este documento muestra el producto de estudios al nivel de zonificación industrial, los cuales sirvieron como base para la delimitación de 21 zonas industriales. La ubicación de las zonas industriales fue empleada para establecer la zonificación utilizada en el estudio de la Radial Heredia – San José.

5. "Estudio de Factibilidad San José – Zapote – Cartago"

Publicado en Octubre del 2000 por URS Greiner Woodward Clyde, este informe de avance presenta información relacionada con el estudio de factibilidad del proyecto de concesión con servicio público del corredor vial San José – Zapote – Cartago. El documento presenta volúmenes diarios muestreados en mayo y junio del 2000, matrices de origen y destino de viajes captados, perfiles diarios de flujos en diferentes puntos del proyecto y la zonificación empleada para el estudio. En este documento se presentan también los resultados preliminares del análisis de la sensibilidad del usuario al peaje. Estos resultados fueron tomados como base para realizar la encuesta piloto de preferencia declarada para el estudio de la Radial Heredia. En este mismo documento se presentan resultados preliminares del análisis de las diferentes estaciones maestras de aforo establecidas por el MOPT. En estos resultados se presentan las tasas de crecimiento del tráfico para el área de estudio de ese estudio en particular.

6. "Estudio de Viabilidad Financiera e Impacto Ambiental del Proyecto Anillo Periférico"

Publicado en Noviembre del 2000 por INDECA Ltda, este informe presenta los resultados relacionados con el estudio de factibilidad del proyecto de concesión con servicio público del Proyecto Anillo Periférico. En el documento se presenta el trazo y análisis de demanda del proyecto. Este estudio fue de suma importancia ya que al principio del proyecto varias alternativas de recorrido de la Radial Heredia se contemplaba el uso del trazo del Anillo Periférico en su sección norte. El informe de este proyecto ayudó a establecer la red futura para los años horizonte del proyecto Radial Heredia.

7. "Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Tres Viaductos Urbanos de San José"

Publicado en Octubre del 2000 por GETINSA Novotecni, este informe presenta los resultados relacionados con el estudio de factibilidad del proyecto de concesión con servicio público de los Tres Viaductos Urbanos de San José. Se utilizaron los aforos recopilados por esta empresa como base para el estudio de la Radial Heredia. Se incluye en este estudio la composición vehicular, así como tasas de crecimiento para el tráfico de San José y su área urbana. Las matrices origen – destino utilizadas en este estudio sirvieron para corroborar los datos obtenidos en el estudio de la Radial Heredia.

En la Tabla 5 siguiente se muestra la relación de la información utilizada de cada estudio o informe.

Tabla 5. Principales fuentes de información utilizadas

| Fuente | Información | Información Obtenida |
|----------------------------------|--|---|
| ETUGAM | Informe Final | - Zonificación del SIATGAM - Matrices de viajes por estrato y motivo para el SIATGAM (1990 y 2000) - Base de datos georeferenciada de la red vial de San José |
| OPAM | Plan Regional Metropolitano GAM | - Políticas de planeación regional en la Gran Área Metropolitana |
| URS-Greiner Woodward Clyde | Estudio de factibilidad del proyecto de concesión con servicio público del corredor vial San José-Zapote-Cartago (Informe de avance) | - Aforos vehiculares - Valores del tiempo (referencia para encuestas de preferencia declarada efectuadas) - Sensibilidad de usuarios a peaje - Matrices de viajes mayo – junio 2000 - Tiempos de viajes |
| Indeca Consultores | Estudio de factibilidad del proyecto de concesión con servicio público del Anillo Periférico (Informe Final) | - Aforos vehiculares - Sensibilidad de usuarios al peaje - Matrices de viajes mayo – junio 2000 |
| GETINSA - Novotecni | Estudio de factibilidad del proyecto de concesión con servicio público de Viaductos Urbanos (Informe final) | - Aforos vehiculares - Valores del tiempo (referencia para encuestas de preferencia declarada efectuadas) - Sensibilidad de usuarios a peaje - Matrices de viajes mayo – junio 2000 |
| OPAM | Zonas Industriales Gran Área Metropolitana | - Ubicación de áreas industriales en el GAM |
| Indeca Consultores | Estudio de diseño de Radial Heredia – San José | - Plano de trazo geométrico |

Fuente: Elaboración propia

3.2 Antecedentes tarifarios

En este apartado se presentan las tarifas de peaje que actualmente se cobran por tipo de vehículo y por kilómetro.

El cobro de tarifas de peaje en carreteras en Costa Rica ha sido utilizado desde 1994. En el GAM del Valle Central de Costa Rica existen cinco carreteras de peaje:

- General Cañas
- Próspero Fernández
- Florencio del Castillo
- Bernardo Soto
- Braulio Carrillo

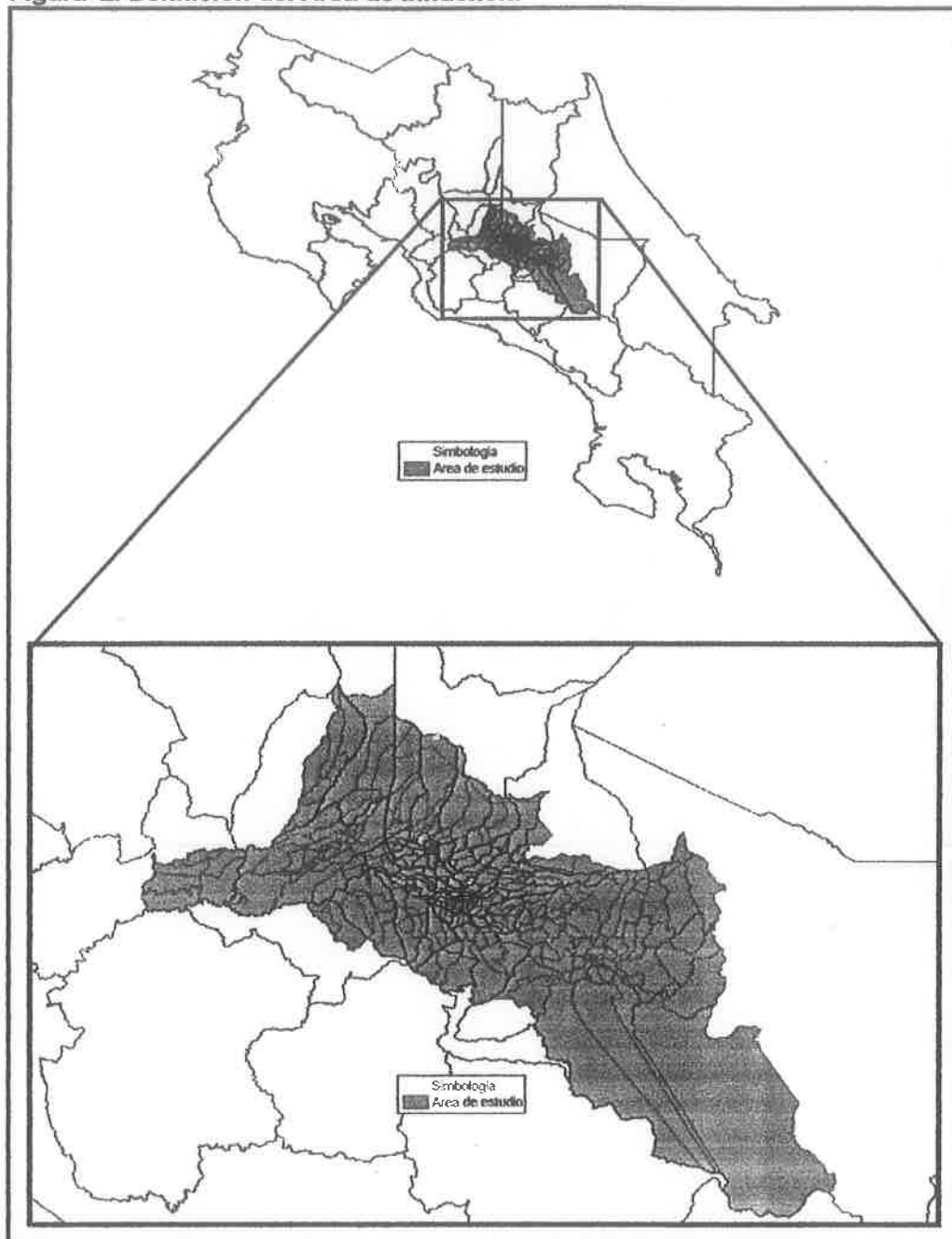
Las primeras tres mantienen una misma tarifa desde 1994. La estructura tarifaria por kilómetro y tipo de vehículo se muestra a continuación en la Tabla 6. La autopista Bernardo Soto dejó de funcionar como vía con peaje a partir del año de 1997.

Tabla 6. Tarifas de las principales autopistas del GAM (vigentes)

| Autopista | Distancia (km) | Peaje (Colones) | | | | Peaje (Colones / km) | | | |
|------------------------|----------------|-----------------|---------|----------|----------|----------------------|---------|----------|----------|
| | | Autos | Autobús | Medianos | Furgones | Autos | Autobús | Medianos | Furgones |
| Próspero Fernández | 9.50 | 60 | 120 | 120 | 180 | 6.32 | 12.63 | 12.63 | 18.95 |
| General Cañas | 14.50 | 60 | 120 | 120 | 180 | 4.14 | 8.28 | 8.28 | 12.41 |
| Florencio del Castillo | 13.50 | 60 | 120 | 120 | 180 | 4.44 | 8.89 | 8.89 | 13.33 |
| Braulio Carrillo | 50.00 | 200 | 300 | 600 | 1500 | 4.00 | 6.00 | 12.00 | 30.00 |
| | | Peaje (US\$) | | | | Peaje (US\$ / km) | | | |
| Próspero Fernández | 9.50 | 0.185 | 0.369 | 0.369 | 0.554 | 0.019 | 0.039 | 0.039 | 0.058 |
| General Cañas | 14.50 | 0.185 | 0.369 | 0.369 | 0.554 | 0.013 | 0.025 | 0.025 | 0.038 |
| Florencio del Castillo | 13.50 | 0.185 | 0.369 | 0.369 | 0.554 | 0.014 | 0.027 | 0.027 | 0.041 |
| Braulio Carrillo | 50.00 | 0.615 | 0.923 | 1.846 | 4.615 | 0.012 | 0.018 | 0.037 | 0.092 |

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT)

Figura 2. Definición del Área de Influencia



Fuente: Elaboración propia

4.2 Zonificación

La zonificación utilizada en el presente estudio es basada en la desarrollada por el MOPT, la cual se utilizó en el estudio del SIATGAM realizado por esta entidad y publicado en 1990. En la zonificación del MOPT se consideraron 388 zonas de las cuales 372 están en el GAM y 16 en sitios externos al mismo. La zonificación del SIATGAM incluye parte de las provincias de Cartago, Alajuela, Heredia y San José. En su mayoría, esta zonificación fue agregada en zonas más extensas debido a las diferentes características y objetivos del estudio. Sin embargo, en algunos

casos se dividieron zonas del SIATGAM para este proyecto debido a que su extensión o porque su forma no era la más conveniente para el desarrollo del estudio de la Radial Heredia – San José.

De igual forma se consideró la jerarquía en cuanto a entidades político – administrativas en Costa Rica. El Distrito se considera como la unidad básica, seguido por el Cantón y finalmente la Provincia.

Dentro del ámbito externo de la zonificación del SIATGAM se consideraron los países vecinos a Costa Rica (Nicaragua, Guatemala, Panamá y El Salvador), como zonas independientes, resultando cuatro zonas adicionales. En este mismo ámbito, pero dentro del país, se consideraron las provincias Guanacaste, Puntarenas (dividida en dos zonas: Norte y Sur) y Limón las cuales rodean al GAM, en estas provincias se consideraron cuatro zonas más.

En cuanto al ámbito interno se consideraron las cuatro provincias que integran el GAM con sus respectivos cantones y a su vez con sus distritos. Además de considerar algunos sitios de referencia, que para cuestiones del estudio se denominaron "Puntos de referencia". Estos últimos nos ayudan a caracterizar zonas que no son fácilmente identificadas por su nombre real y se buscó un elemento de identificación más reconocido por los automovilistas. En total las zonas del ámbito interno suman 100 de las 108 consideradas para este estudio. La Tabla 7 muestra un resumen de esta agrupación dentro de la zonificación.

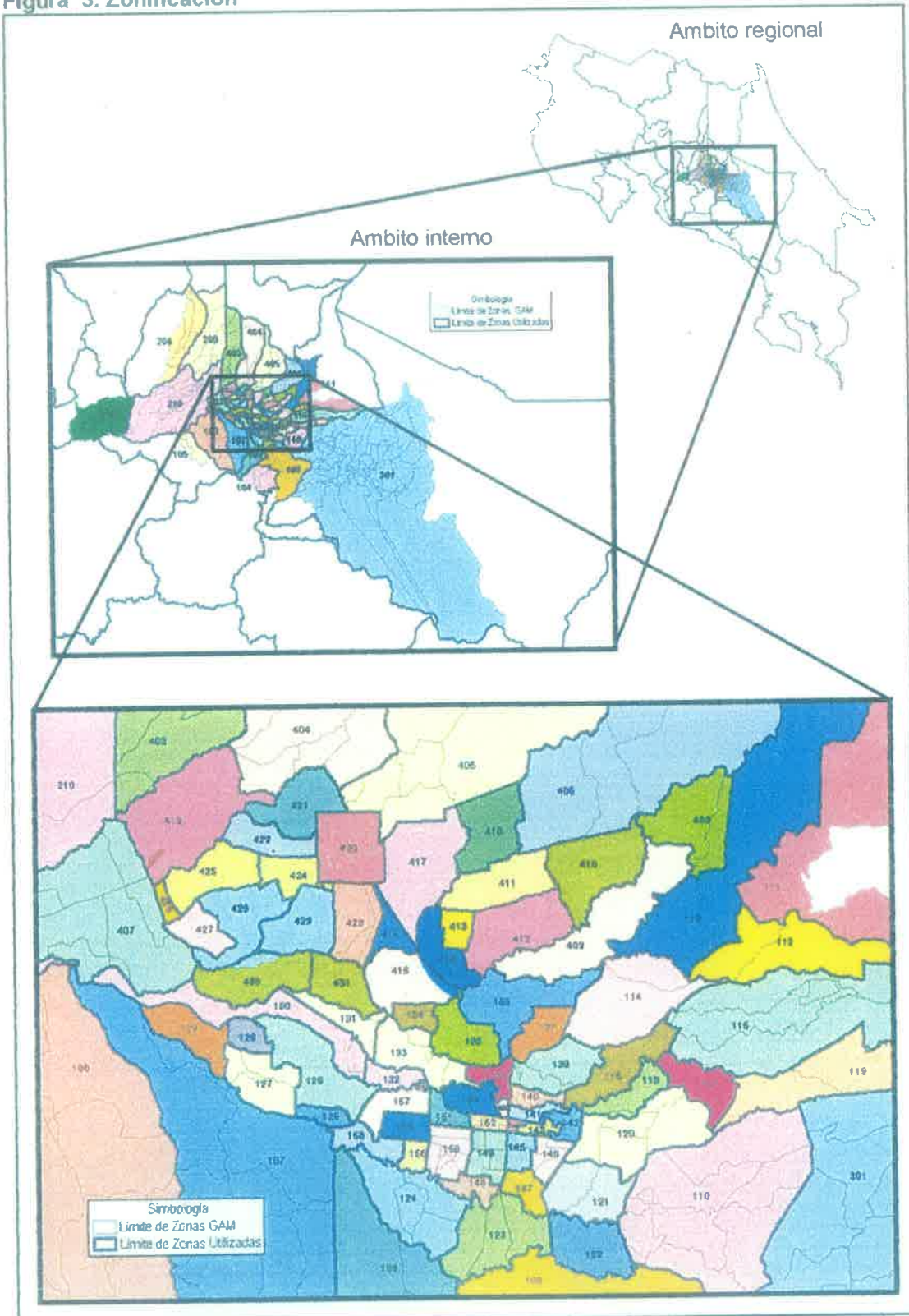
El mayor detalle de zonificación se realizó en las dos provincias de mayor interés para este estudio: San José y Heredia. La Figura 3 muestra la zonificación en el ámbito externo e interno.

Tabla 7. Zonificación del área de estudio.

| País | Provincia | # de zonas | Zona ID# |
|------------------------------------|------------------|------------|----------|
| Zonificación ámbito interno | | | |
| Costa Rica | San José | 58 | 101-158 |
| | Alajuela | 10 | 201-210 |
| | Cartago | 1 | 301 |
| | Heredia | 31 | 401-431 |
| | Subtotal | 100 | 101-431 |
| Zonificación ámbito externo | | | |
| Costa Rica | Guanacaste | 1 | 501 |
| | Puntarenas Norte | 1 | 601 |
| | Puntarenas Sur | 1 | 602 |
| | Limón | 1 | 701 |
| Nicaragua | | 1 | 801 |
| Guatemala | | 1 | 901 |
| Panamá | | 1 | 1001 |
| El Salvador | | 1 | 1101 |
| | Subtotal | 8 | 501-1101 |
| | Total | 108 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Zonificación



Fuente: Elaboración propia

5 MARCO SOCIOECONÓMICO

El propósito de este capítulo es presentar una visión general de las características socioeconómicas de Heredia, San José, y del GAMI en general cuando la información lo permita. Se presenta de una forma muy breve algunos comentarios sobre la distribución de actividades, permitiendo ubicar los principales usos de suelo de la ciudad. A continuación se consideran cuatro temas (población, actividad económica, fuerza laboral y empleo y registro automotor), los cuales se constituyen en insumos que contribuyen a alimentar el modelo que estima la demanda de transporte en el área estudiada.

5.1 Antecedentes socioeconómicos

El país de Costa Rica se encuentra colindando con dos océanos y dos países, al oeste con el Océano Pacífico y al este con el Océano Atlántico. Al norte colinda con Nicaragua y al sur con Panamá. Además el país se encuentra dividido por montañas volcánicas y cuenta con un altiplano llamado Valle Central, en el cual se localizan las provincias de Heredia y San José, las cuales se ubican en la región centro de Costa Rica. Heredia colinda con las provincias de San José, Alajuela, Limón y al norte tiene frontera con Nicaragua. En cambio, San José colinda con Heredia, Limón, Cartago, Puntarenas y Alajuela. San José es el centro de negocios e industrial del país, así como la capital política del Gobierno.

En cuanto a la población Costa Rica, contaba al final del año 2000 con una población 3,824,593 habitantes, de los cuales más del 50% de la población total vive en el Valle Central, el cual cubre sólo el 4% de la superficie de todo el país.

Por lo que a la economía concierne, a finales de 1994 se firmó un acuerdo con el cual a partir del primero de enero de 1995 entró en vigencia el libre mercado a la economía del país. Esta política establece un camino para los productos costarricenses al mercado de Norteamérica, a través del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (NAFTA por sus siglas en inglés) con México, Estados Unidos y Canadá. Durante estos últimos años, ha habido un gran desarrollo de la industria extranjera, gracias a los mecanismos de Zonas Francas y de los Parques Industriales. Esta política ha facilitado la instalación de empresas extranjeras de alta tecnología en el país.

5.1.1 Población total

Existen diversas fuentes de información para la población del Gran Área Metropolitana y su nivel de desagregación varía ampliamente una de otra. Para el análisis que se presenta se utiliza la información más reciente que corresponde a las cifras preliminares del IX Censo Nacional de Población y V de Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos.

La población total de Costa Rica a finales del año 2000 fue de 3,824,593 habitantes. Las provincias de San José y Heredia cuentan con un 35.47% y 9.28% de la población total nacional, de acuerdo con datos preliminares del IX Censo Nacional de Población del 2000. Como se mencionó antes, el Valle Central cuenta con más del 50% de la población total del país. Se estima que la población total de Costa Rica a finales del 2001 sea de 4,029,955; para la provincia de San José será de 1,426,604, y para la provincia de Heredia contará con 318,816 habitantes, lo cual es un indicador importante para el actual proyecto, ya que se requerirá de mayor infraestructura para la movilización de las personas y bienes.

La tasa de crecimiento anual de población del país y de las provincias de San José y Heredia están mostrados en la Tabla 8. La tasa de crecimiento anual promedio de población para el período entre 1992 y 1999 fue de 1.97% para todo el país, 1.86% para San José, y 1.97% para Heredia.

Tabla 8. Población de Costa Rica, San José y Heredia

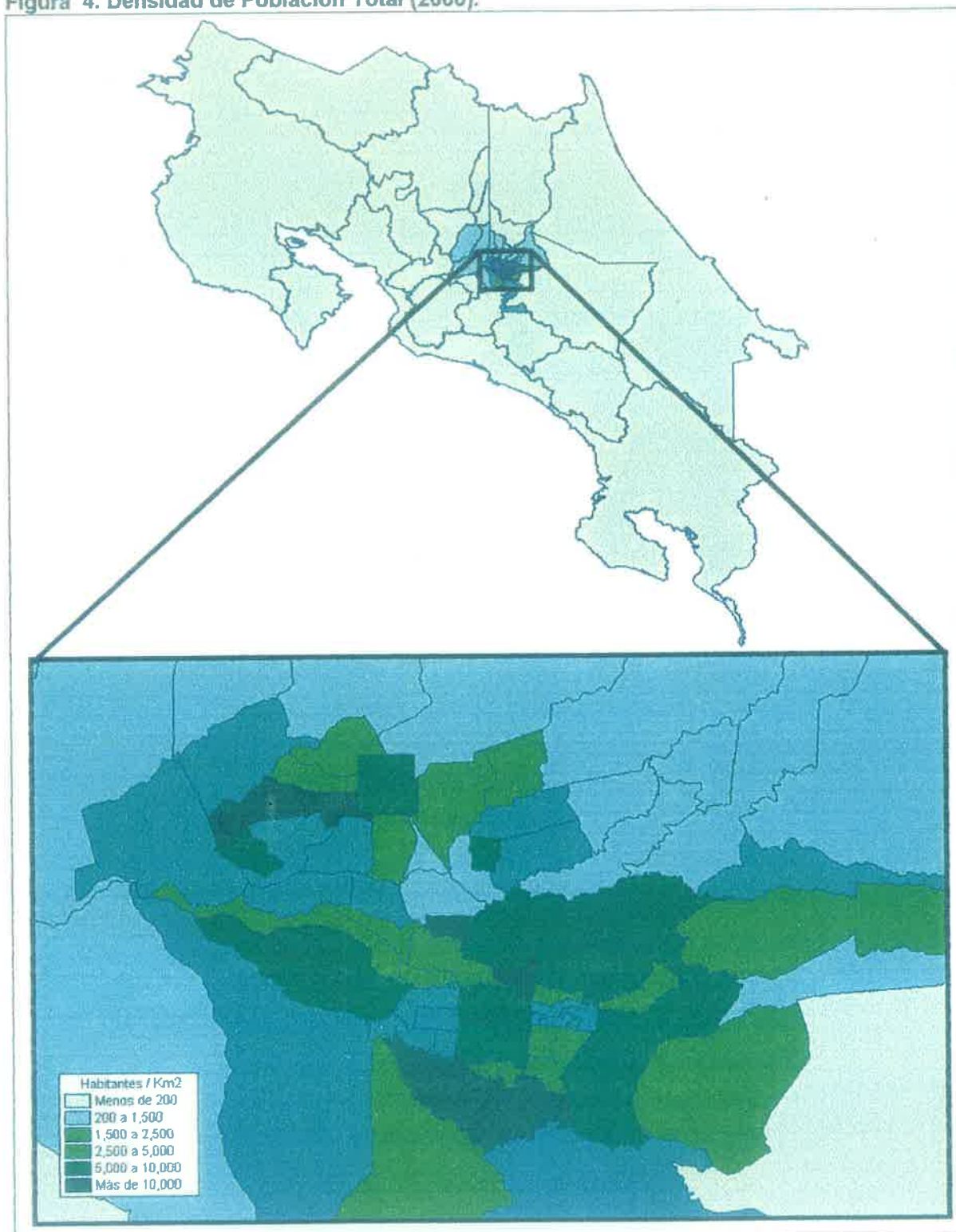
| Año | Población (habitantes) | | | Tasa de Crecimiento (%) | | |
|------|------------------------|-------------|---------------|-------------------------|-------------|------------|
| | Costa Rica | P. San José | P. Heredia | Costa Rica | P. San José | P. Heredia |
| 1991 | 3,099,063 | 1,128,059 | 247,925 | - | - | - |
| 1992 | 3,166,962 | 1,152,774 | 253,357 | 2.19 | 2.19 | 2.19 |
| 1993 | 3,234,133 | 1,175,651 | 259,495 | 2.12 | 1.98 | 2.42 |
| 1994 | 3,301,210 | 1,198,283 | 264,740 | 2.07 | 1.93 | 2.02 |
| 1995 | 3,367,455 | 1,220,412 | 270,096 | 2.01 | 1.85 | 2.02 |
| 1996 | 3,432,665 | 1,242,302 | 275,522 | 1.94 | 1.79 | 2.01 |
| 1997 | 3,496,423 | 1,263,681 | 280,807 | 1.86 | 1.72 | 1.92 |
| 1998 | 3,558,697 | 1,284,493 | 286,112 | 1.78 | 1.65 | 1.89 |
| 1999 | 3,622,171 | 1,307,604 | 289,774 | 1.78 | 1.80 | 1.28 |
| | | | Tasa Promedio | 1.97 | 1.86 | 1.97 |

Fuente: Elaboración propia con datos del INEC

Como puede observarse, la tasa de crecimiento promedio anual presenta a través del tiempo una clara tendencia decreciente, especialmente en la provincia de Heredia donde en 1999 se registró una tasa de solo 1.28%.

La Figura 4 muestra la densidad de población por zona de planeación de este estudio. Las zonas más densamente pobladas en las provincias de San José y Heredia se encuentran en San Francisco de Heredia, León XIII, Cinco Esquinas, Hatillo y San Sebastián.

Figura 4. Densidad de Población Total (2000).



Fuente: Elaboración propia con datos del INEC

5.2 Actividad económica

El análisis de una región siempre requiere enmarcarse en el contexto macroeconómico en el ámbito de provincia y país. Esto, con el objetivo de contar con los conocimientos fundamentales del área de estudio y de las principales circunstancias económicas y sociales del país. Con este objetivo se llevó a cabo una revisión de algunos indicadores económicos y financieros en el ámbito nacional.

Las variables aquí analizadas son: el producto interno bruto (PIB) nacional, la balanza comercial internacional (importaciones / exportaciones), tipo de cambio con respecto al dólar y la tasa de inflación.

5.2.1 Producto interno bruto (PIB)

El producto interno bruto mide la producción realizada por factores de producción residentes en el país, independientemente de quién sea el propietario. Por lo tanto, el producto interno bruto, como indicador macroeconómico, proporciona una imagen de la dinámica económica del país. En la Figura 5, puede observarse la evolución del PIB total nacional durante los últimos años en colones corrientes y en colones constantes de 1991.

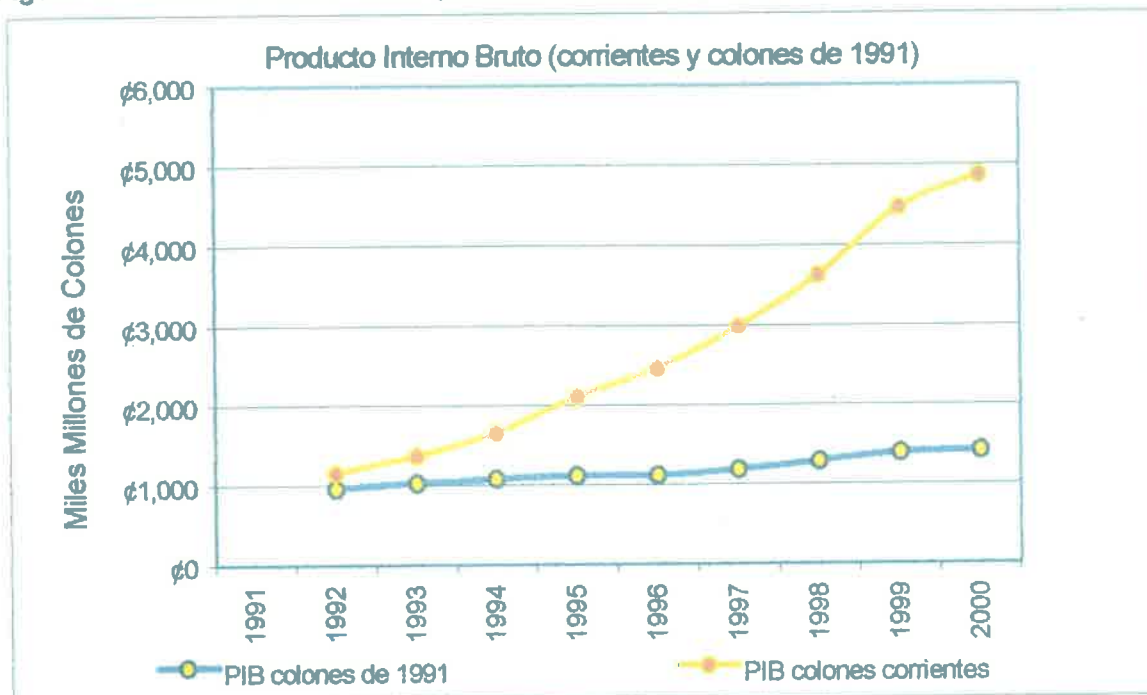
En la Figura 6 se observa el comportamiento de la tasa de variación del PIB de 1991 al 2000.

En precios constantes, el PIB ha presentado en su evolución una tendencia con descensos hasta el año de 1996 cuando tuvo un ascenso hasta el año 1999, año en el que se inicia nuevamente un descenso. En precios constantes, en promedio se ha mostrado una tasa de crecimiento anual del 4.96% en el período 1991 – 2000. Por lo que se puede concluir que el PIB ha mantenido una tendencia de crecimiento constante en este período en precios constantes. El máximo crecimiento anual porcentual de este período (1991-2000) fue de 8.82% entre 1991 y 1992 en precios constantes .

5.2.2 Comercio exterior

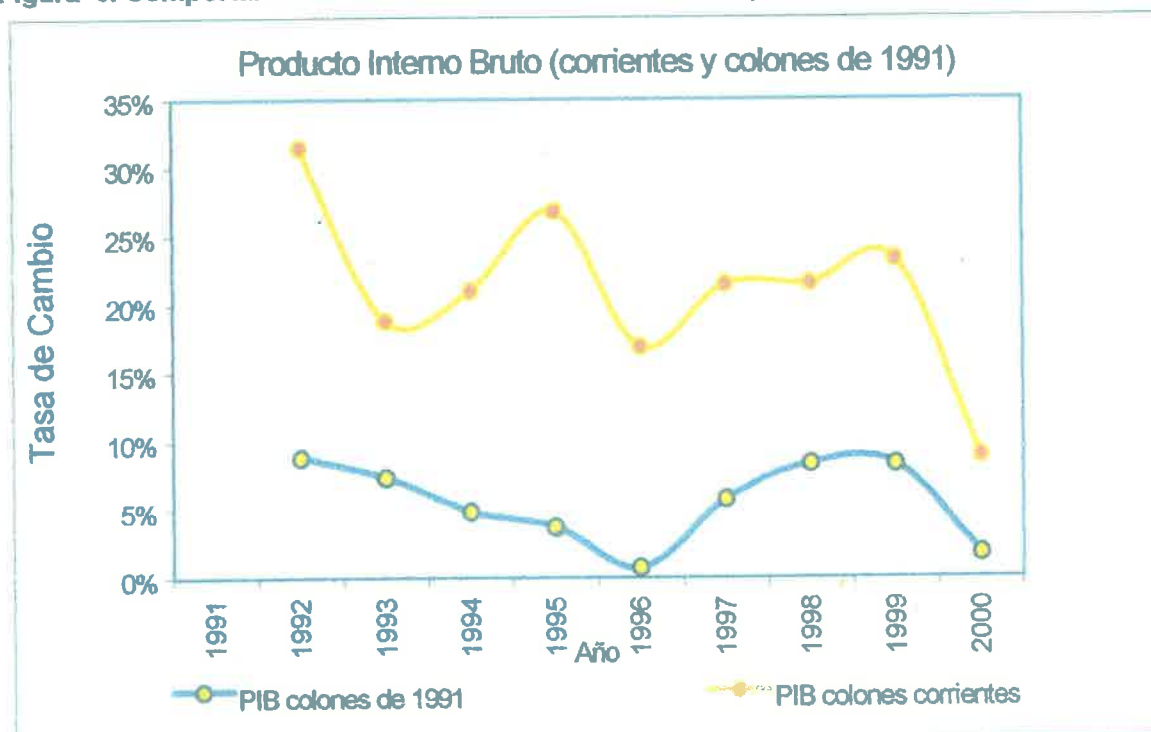
La construcción de toda vía de comunicación tiene un aporte importante en el movimiento de productos y servicios. En consecuencia con lo anterior, es importante analizar la magnitud del comercio exterior del país. La Figura 7 muestra la evolución del comercio exterior de 1995 a 2001, donde se puede observar que el valor de las importaciones y de las exportaciones ha mantenido un crecimiento constante en este período.

Figura 5. Producto Interno Bruto. (Colones corrientes y constantes)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del BCCR³

Figura 6. Comportamiento de la tasa de variación del PIB (1991-2000).

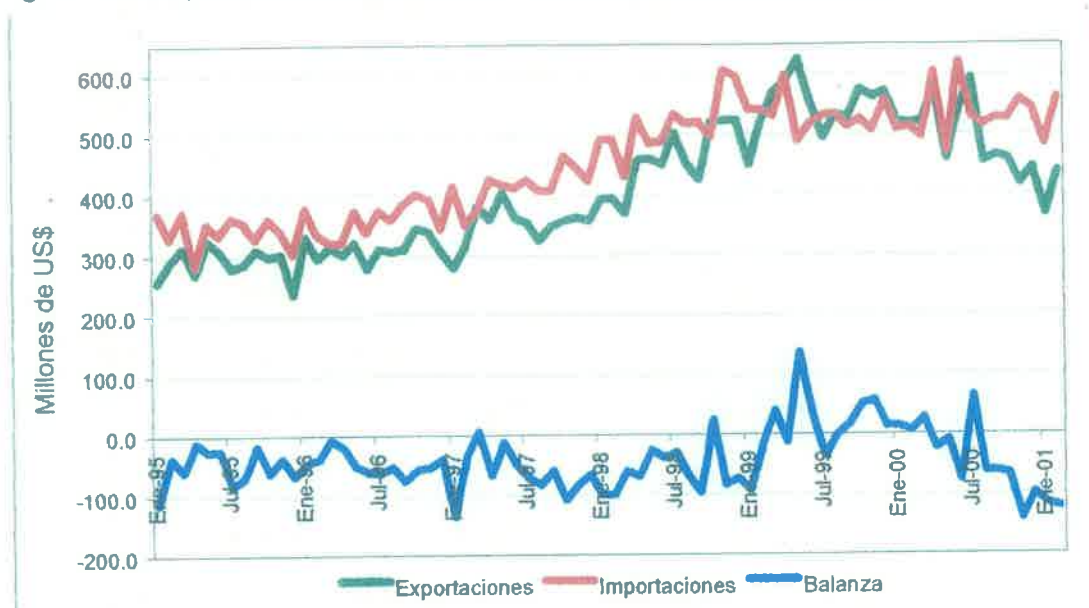


Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del BCCR

³ BCCR es el Banco Central de Costa Rica

Históricamente, las importaciones han sido mayores a las exportaciones, lo que ha significado que la balanza comercial en general ha sido negativa. En 1999, existieron períodos mensuales donde el balance fue positivo, sin embargo en los últimos períodos del año 2000 y 2001 el balance ha tendido a ser negativo nuevamente. En general, puede afirmarse que el constante crecimiento del comercio exterior responde al mayor dinamismo en la actividad económica del país, especialmente causado por la política de libre mercado asumida con el gobierno y los tratados de libre comercio con Norteamérica.

Figura 7. Comportamiento histórico del comercio exterior (1995-2001).

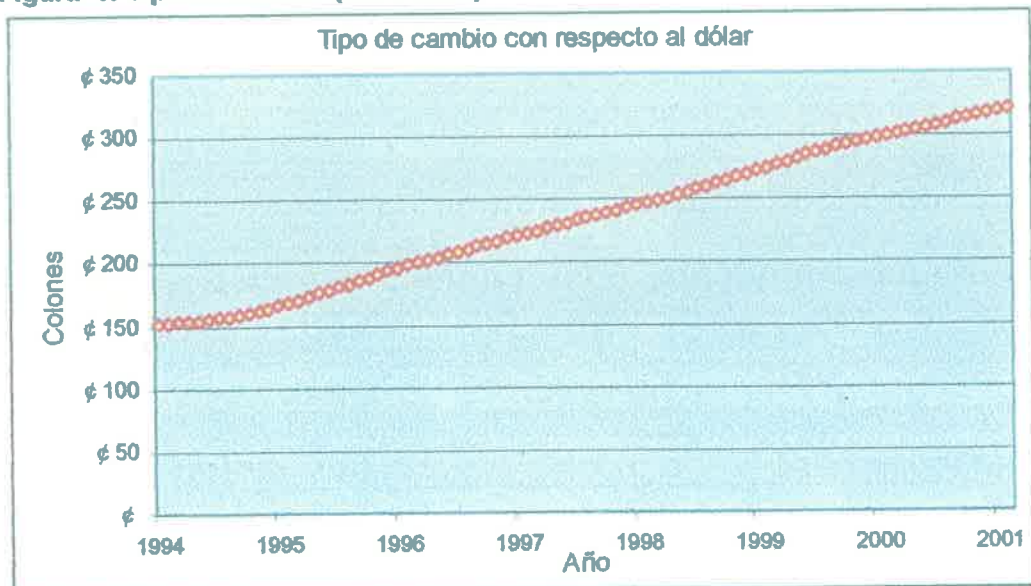


Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del BCCR

5.2.3 Tipo de cambio

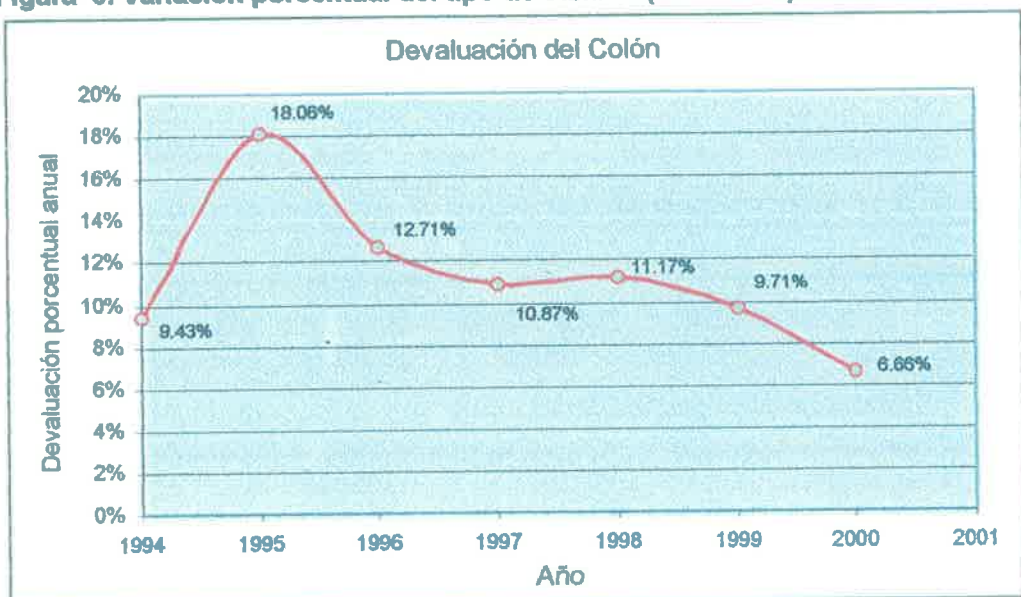
En la Figura 8, se muestra el tipo de cambio promedio del colón con respecto al dólar estadounidense entre enero de 1994 y febrero del 2001. En este período, la devaluación del colón con respecto al dólar ha sido de un promedio de ₡23.87 por año. La devaluación porcentual por año promedio en este período ha sido del 11.23%. Sin embargo, existe una tendencia a la baja en la devaluación porcentual ya que en el año 2000 fue del 6.66% (ver Figura 9). Como se puede observar, en el año de 1996 se presentó la devaluación más alta en este período, que fue del 18%.

Figura 8. Tipo de cambio (1994-2001).



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del BCCR

Figura 9. Variación porcentual del tipo de cambio (1994-2001)

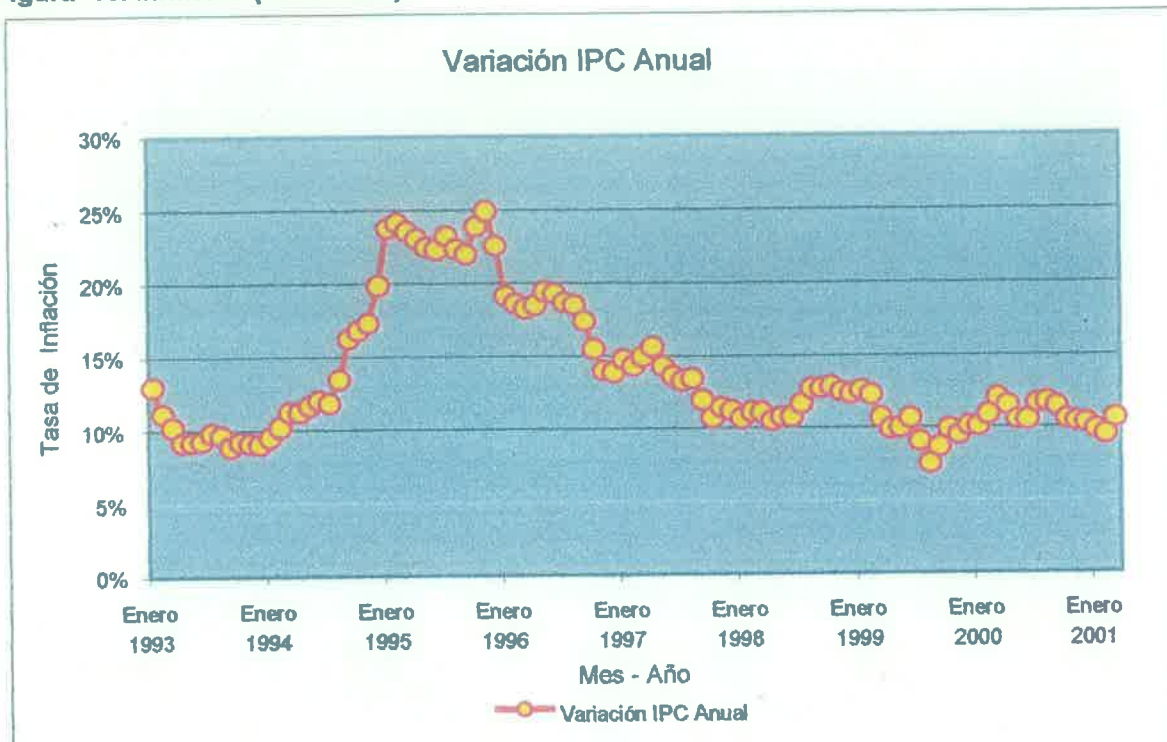


Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del BCCR

5.2.4 Inflación

Otra variable importante para el análisis de la economía del país es la inflación. En la Figura 10 se puede observar el ritmo inflacionario entre enero de 1993 y enero del 2001. Al igual que la devaluación, en 1995 existió una alza considerable en el índice de precios al consumidor (IPC), del orden del 24% anual. En los últimos tres años (1998-2001), la inflación se ha reducido a niveles comparables con el registrado en 1994. De seguir con esta tendencia, podemos esperar que la inflación para el resto del año 2001 y el 2002 continúe a los mismos niveles actuales, que oscila en el 10%.

Figura 10. Inflación (1993-2001).



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del BCCR

5.2.5 Fuerza laboral

La fuerza de trabajo del área de influencia de todo proyecto es muy importante debido a la relación cercana que existe entre el número de empleados y el número de viajes producidos en determinada zona. Los datos disponibles sobre fuerza de trabajo en Costa Rica se refieren al número de trabajadores por rama económica en el país, así como su ingreso promedio.

En la Tabla 9 se muestra el número de costarricenses que pertenecen a la fuerza laboral. Como se puede observar, el porcentaje de la población total que representa la fuerza laboral fue en esos años alrededor del 37%.

En la Tabla 10, también se observa tanto las tasas de cambio porcentuales para la población y la fuerza laboral. El promedio de la tasa de cambio anual para la fuerza laboral es mayor en este período que el incremento en población. Sin embargo, la fuerza laboral muestra un comportamiento más irregular porque mientras la tasa de cambio en población tiende a disminuir, la tasa de cambio presenta cambios que inclusive en 1996 mostró un decremento de la fuerza laboral del país.

La Tabla 12 muestra la distribución del número de empleados en Costa Rica en tres diferentes sectores. El porcentaje de asalariados es el 73% del total de trabajadores. El sector privado es el que más empleados tiene con un 59%, después aparecen los asalariados independientes con el 27% y los empleados del sector público con un 14%. Sin embargo, es el sector público el que mayor ingreso promedio mensual percibe, con ₡177,868 mensuales o US \$573.77 con una tasa de cambio promedio en el año 2000 de 310 colones por dólar americano.

El comercio, sector agropecuario y el servicio comunal social son las actividades que mayor porcentaje de la fuerza laboral tienen. En segundo término aparece la industria manufacturera con un 14% de la fuerza laboral. La actividad menos importante de las presentadas es la relacionada

con la extracción de minas o canteras con apenas un 0.21%. se puede observar también que en el año 2000 en Costa Rica existió un 5.17% de desocupación de la fuerza laboral.

Tabla 9. Fuerza laboral y porcentaje de población

| Año | Población | Tasa de Cambio (%) | Fuerza laboral | Tasa de Cambio (%) | Porcentaje Fuerza / Población |
|------|-----------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------------------|
| 1994 | 3,301,210 | - | 1,187,005 | - | 35.96 |
| 1995 | 3,367,455 | 2.00 | 1,231,572 | 3.75 | 36.57 |
| 1996 | 3,432,665 | 1.93 | 1,220,914 | -0.86 | 35.57 |
| 1997 | 3,496,423 | 1.85 | 1,301,625 | 6.61 | 37.23 |
| 1998 | 3,558,697 | 1.78 | 1,376,540 | 5.75 | 38.68 |
| 1999 | 3,622,171 | 1.78 | 1,383,452 | 0.50 | 38.19 |
| | | 1.97 | Promedio | 3.15 | 37.03 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del INEC

Tabla 10. Distribución de empleados e ingreso promedio (2000)

| | Número trabajadores | Ingreso Promedio | Ingreso Promedio | Porcentaje |
|----------------|---------------------|------------------|------------------|------------|
| Total país | 1,162,654 | ¢111,233 | US \$ 358.82 | |
| Asalariados | 852,646 | ¢111,612 | US \$ 360.04 | 73.34% |
| Sector público | 164,728 | ¢177,868 | US \$ 573.77 | 14.17% |
| Sector privado | 687,918 | ¢95,746 | US \$ 308.86 | 59.17% |
| Independientes | 310,008 | ¢110,191 | US \$ 355.45 | 26.66% |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del INEC

Tabla 11. Número de empleados por actividad económica (2000)

| Actividad Económica | Fuerza de Trabajo | Ocupados | Desocupados |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|-------------|
| Total | 1,390,560 | 1,318,625 | 71,935 |
| Agricultura, Silvicultura y Pesca | 280,643 | 269,209 | 11,434 |
| Explotación Minas y Canteras | 2,878 | 2,609 | 269 |
| Industria Manufacturera | 198,840 | 190,258 | 8,582 |
| Electricidad, Agua y Gas | 11,136 | 10,877 | 259 |
| Construcción | 96,426 | 89,715 | 6,711 |
| Comercio | 281,692 | 266,832 | 14,860 |
| Transportación y Almacenamiento | 80,610 | 78,832 | 1,778 |
| Estable Financieramente | 67,122 | 64,261 | 2,861 |
| Servicio Comunal Social | 349,516 | 337,085 | 12,431 |
| Trabajo no especificado | 9,948 | 8,947 | 1,001 |
| Buscan por primera vez | 11,749 | 0 | 11,749 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del INEC

Tabla 12. Porcentaje de empleados por actividad económica (2000)

| Actividad Económica | Fuerza de Trabajo | Ocupados | Desocupados |
|-----------------------------------|-------------------|----------|-------------|
| Total | 100.00% | 94.83% | 5.17% |
| Agricultura, Silvicultura y Pesca | 20.18% | | |
| Explotación Minas y Canteras | 0.21% | | |
| Industria Manufacturera | 14.30% | | |
| Electricidad, Agua y Gas | 0.80% | | |
| Construcción | 6.93% | | |
| Comercio | 20.26% | | |
| Transportación y Almacenamiento | 5.80% | | |
| Estable Financieramente | 4.83% | | |
| Servicio Comunal Social | 25.13% | | |
| Trabajo no especificado | 0.72% | | |
| Buscan por primera vez | 0.84% | | |

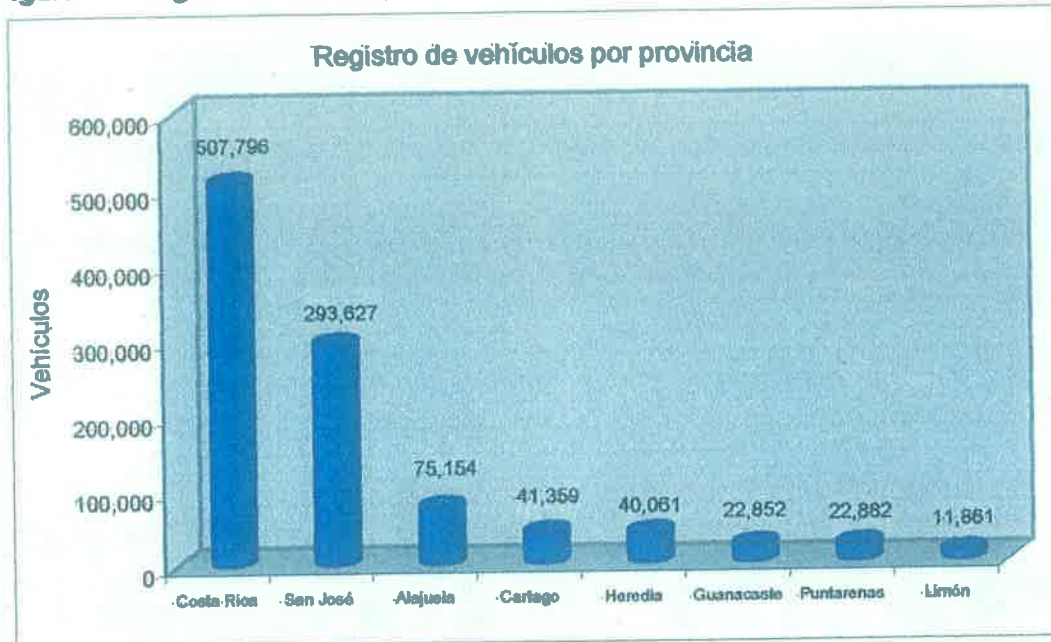
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del INEC

5.2.6 Registro vehicular y tasa de motorización

El número de vehículos registrados es un indicador importante de la demanda potencial de la autopista en estudio, principalmente debido a que la mayor parte del tránsito atraído se espera que esté compuesto por automóviles y camiones.

La Figura 11, se muestra el registro de vehículos por provincia para 1999. San José es la provincia que más vehículos registrados tiene con el 57.8% del registro total del país. En los últimos 7 años, el registro vehicular ha incrementado a una tasa promedio del 7.9%. Este incremento ha sido causado principalmente por el aumento en importación de vehículos usados. La tasa de crecimiento del 7.9% es casi cuatro veces mayor a la de población y el 50% superior al PIB en el mismo período.

Figura 11. Registro vehicular por provincia (1999).

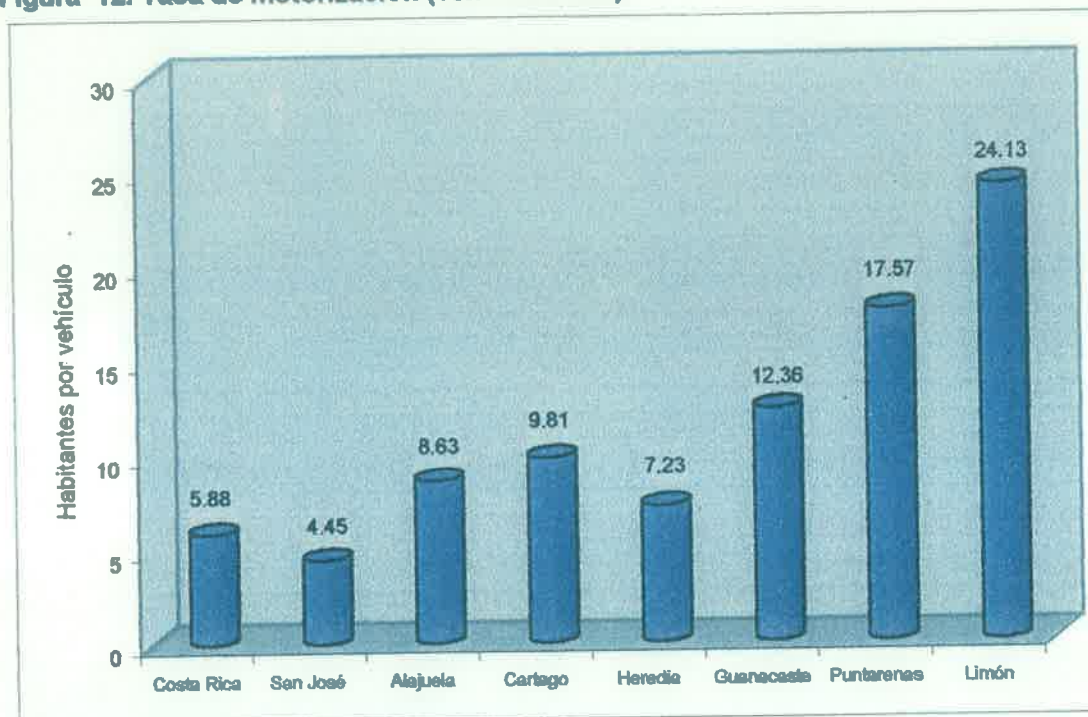


Fuente: Elaboración propia con datos del MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

El índice de motorización es un indicador de la disponibilidad de vehículos en función de la cantidad de habitantes en una zona o localidad. Lo anterior puede apreciarse en la Figura 12, la cual muestra los índices de motorización por provincia. El índice nacional de motorización en 1991 era de 9.31 habitantes por vehículo, de acuerdo a información del MOPT. Sin embargo, como se muestra en la Figura 13, en 1999 el índice de motorización ha cambiado a 5.88 habitantes por vehículo. Las dos provincias involucradas en el proyecto, Heredia y San José, son las provincias que más altos índices de motorización tienen.

El índice de vehículos / habitantes ha ido disminuyendo a lo largo de los años constantemente como lo muestra la Figura 14. Sin embargo, este índice ha reducido su cambio porcentual en los últimos dos años (1997-1999), donde el registro vehicular a disminuido a comparación del año anterior, bajando en 1999 a una tasa anual del 3.8%. Las tasas de motorización mostradas en el cuadro y la figura son para todo el país.

Figura 12. Tasa de motorización (veh / hab1999).



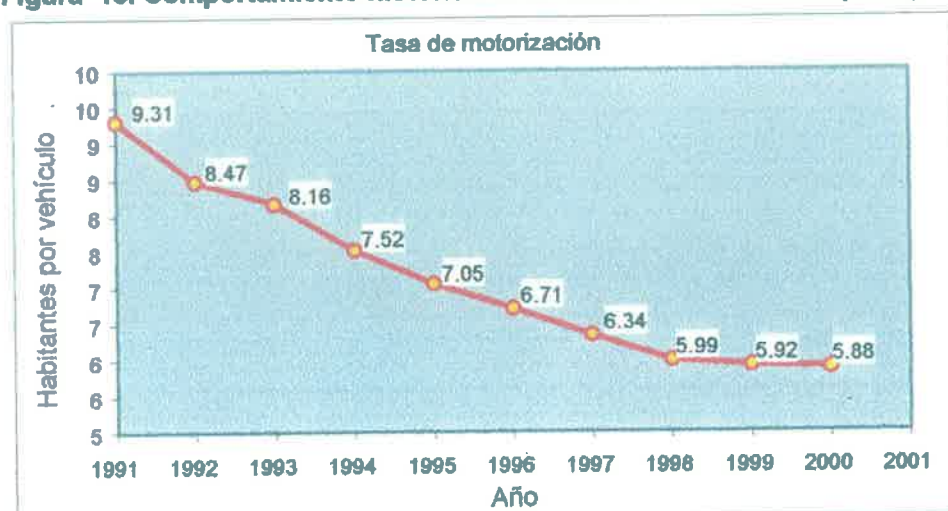
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

Tabla 13. Tasa de motorización de Costa Rica

| Año | Población | Tasa De Cambio (%) | Total Vehículos | Tasa de Motorización (Hab/veh) | Tasa de Cambio (%) |
|---------------|-----------|--------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| 1991 | 3,099,063 | - | 332,876 | 9.31 | - |
| 1992 | 3,166,962 | 2.19 | 373,868 | 8.47 | -9.01 |
| 1993 | 3,234,133 | 2.12 | 396,379 | 8.16 | -3.68 |
| 1994 | 3,301,210 | 2.07 | 439,235 | 7.52 | -7.89 |
| 1995 | 3,367,455 | 2.01 | 477,778 | 7.05 | -6.22 |
| 1996 | 3,432,665 | 1.94 | 511,670 | 6.71 | -4.82 |
| 1997 | 3,496,423 | 1.86 | 551,750 | 6.34 | -5.54 |
| 1998 | 3,558,697 | 1.78 | 594,148 | 5.99 | -5.48 |
| 1999 | 3,622,171 | 1.78 | 612,300 | 5.92 | -1.23 |
| Tasa Promedio | | 1.97 | | | -5.48 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

Figura 13. Comportamiento histórico de la tasa de motorización (1999).



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

5.3 Proyección de variables socioeconómicas

El propósito de este apartado es presentar las proyecciones de las principales variables socioeconómicas que contribuyen a alimentar el modelo que estima la demanda de transporte en el área estudiada. Las proyecciones se realizan hasta el año 2026 y se basan en supuestos tomados de diferentes estudios como se menciona posteriormente. Los análisis de las variables se hicieron para periodos de 5 años, ya que es la forma en que está establecido en los términos de referencia.

5.3.1 Población total

De acuerdo con el análisis de las diferentes fuentes de información, se tomaron las proyecciones de población para Costa Rica y el área de estudio recientemente realizadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Los datos de población están disponibles por Distrito, Cantón y Provincia.

A partir de los datos de población del INEC se procedió a estimar la población de las 104 zonas establecidas dentro del país para después realizar la proyección de cada una de las zonas. En la Tabla 14 se presentan las tasas de crecimiento proyectadas para la población total de Costa Rica y en la Tabla 15 los resultados proyecciones de la población total. Adicionalmente, en el Anexo se presenta la población total y proyectada para cada una de las zonas de estudio para todo el período considerado.

Tabla 14. Tasa de crecimiento futura de población

| Período | Tasa de Crecimiento Anual |
|-------------|---------------------------|
| 2001 – 2006 | 2.03% |
| 2006 – 2011 | 0.73% |
| 2011 – 2016 | 1.01% |
| 2016 – 2021 | 1.45% |

2021 – 2026 1.22%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Población futura estimada de Costa Rica, San José y Heredia

| | Costa Rica | San José | Heredia |
|------|------------|-----------|---------|
| 2001 | 4,029,955 | 1,426,604 | 378,816 |
| 2006 | 4,455,607 | 1,555,007 | 441,105 |
| 2011 | 4,858,913 | 1,681,184 | 495,609 |
| 2016 | 5,222,812 | 1,807,093 | 532,727 |
| 2021 | 5,550,522 | 1,920,481 | 566,153 |
| 2026 | 5,841,058 | 2,021,006 | 595,788 |

Fuente: Elaboración propia

Para proyectar la población de los distritos y cantones que conforman el Gran Área Metropolitana (GAM), se partió de las proyecciones de población proporcionados por el INEC para el período 1991 – 2000. Para extender las proyecciones al año 2026 se supuso que las tasas de crecimiento seguirían las mismas tendencias decrecientes hasta el año 2011 y a partir de ese año se estabilizarían. La proyección de la población total de Costa Rica y tasas de crecimiento fue basada en proyecciones hechas por el INEC y publicadas en el Anuario Estadístico 1993-1998 (ISSN 1409 – 1941). Los resultados de las proyecciones se muestran en la Tabla 16 y en el Anexo correspondiente.

Tabla 16. Población futura de cantones en el GAM

| Cantón | 1999 | 2001 | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| San José | 301,192 | 325,266 | 331,216 | 342,962 | 368,647 | 391,778 | 412,285 |
| Escazú | 41,738 | 55,638 | 60,645 | 65,566 | 70,477 | 74,899 | 78,819 |
| Desamparados | 141,007 | 208,284 | 242,581 | 272,352 | 292,749 | 311,118 | 327,403 |
| Goicoechea | 99,269 | 124,115 | 135,286 | 146,263 | 157,217 | 167,082 | 175,828 |
| Santa Ana | 24,817 | 35,665 | 38,875 | 42,030 | 45,177 | 48,012 | 50,525 |
| Cantón Alajuelita | 41,738 | 75,610 | 90,190 | 102,552 | 110,233 | 117,149 | 123,281 |
| Vázquez de Coronado | 31,586 | 59,917 | 73,085 | 84,059 | 90,355 | 96,024 | 101,050 |
| Tibás | 72,196 | 75,610 | 74,640 | 75,653 | 81,319 | 86,422 | 90,945 |
| Moravia | 39,482 | 54,211 | 59,090 | 63,885 | 68,670 | 72,978 | 76,798 |
| Montes de Oca | 48,507 | 54,211 | 59,090 | 63,885 | 68,670 | 72,978 | 76,798 |
| Alajuela | 161,077 | 237,896 | 278,618 | 314,274 | 337,811 | 359,008 | 377,800 |
| Heredia | 68,675 | 112,508 | 135,419 | 155,126 | 166,743 | 177,206 | 186,482 |
| Barva | 24,297 | 34,472 | 37,935 | 41,136 | 44,216 | 46,991 | 49,450 |
| Santo Domingo | 28,759 | 36,366 | 37,935 | 39,649 | 42,618 | 45,292 | 47,663 |
| Belén | 14,876 | 21,214 | 24,702 | 27,754 | 29,833 | 31,705 | 33,364 |
| Flores | 11,157 | 15,910 | 18,526 | 20,816 | 22,375 | 23,778 | 25,023 |

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Producto interno bruto

El ritmo de actividad económica del país se mide en términos del producto interno bruto (PIB), el cual durante el período 1991-2000 creció a una tasa promedio anual de 4.96%. Las proyecciones realizadas son basadas en datos nacionales debido a que no se dispone de datos locales o desagregados para las diferentes provincias o cantones del GAM.

La proyección del PIB a nivel nacional se muestra resumida en la siguiente

Tabla 17. La proyección realizada asume un crecimiento constante, con la misma tasa de crecimiento presentada en los últimos diez años, que es del 4.96% anual.

Tabla 17. Proyección del PIB a nivel nacional

| Año | PIB Nacional (miles de millones de colones) | PIB per cápita (miles de colones) |
|------|--|--------------------------------------|
| 2000 | 4,444 | 1,162 |
| 2001 | 4,665 | 1,157 |
| 2006 | 5,942 | 1,334 |
| 2008 | 6,546 | 1,417 |
| 2011 | 7,569 | 1,558 |
| 2016 | 9,642 | 1,846 |
| 2021 | 12,282 | 2,213 |
| 2026 | 15,646 | 2,679 |

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Registro de automóviles

Otra de las variables que es importante proyectar es la correspondiente al registro vehicular. Como se puede observar en el siguiente gráfico, el número de vehículos registrados en el país está altamente correlacionado con el PIB del país, obteniéndose un coeficiente de correlación (R^2) de 0.99 y una ecuación de la forma siguiente:

$$VR = 28,839 (PPC)^{0.4374}$$

donde VR es el número de vehículos registrados en el país y PPC es el PIB per cápita en miles de colones constantes (ver Tabla 18).

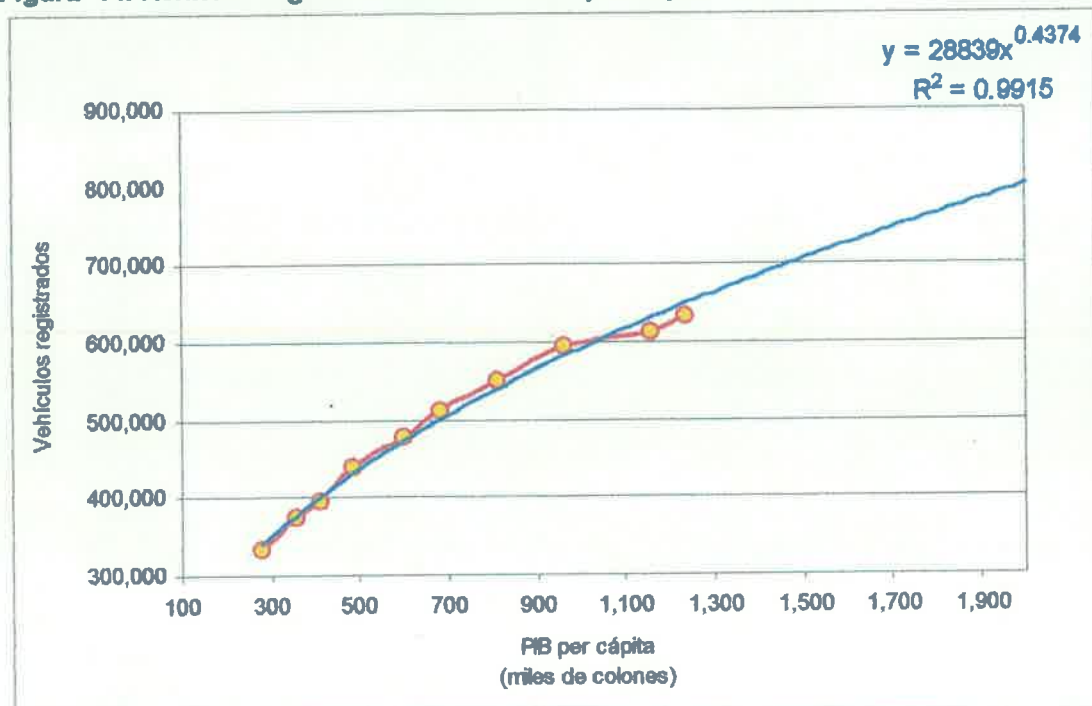
A partir de esta ecuación y conociendo los valores futuros del PIB, se estima en el número esperado de vehículos para cada uno de los años del período considerado. Los resultados se presentan en la Figura 14 y en el Anexo correspondiente.

Tabla 18. Proyección de registro de vehículos en el país

| Año | PIB per cápita (miles de colones) | Registro de vehículos |
|------|--------------------------------------|--------------------------|
| 2001 | 1157.5 | 630,895 |
| 2006 | 1333.6 | 671,217 |
| 2008 | 1416.7 | 689,203 |
| 2011 | 1557.8 | 718,425 |
| 2016 | 1846.1 | 773,823 |
| 2021 | 2212.8 | 837,646 |
| 2026 | 2678.6 | 910,642 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT y BCCR

Figura 14. Relación registro vehicular vs PIB per cápita



Fuente: Elaboración propia

6 OFERTA

En este capítulo se mencionan las actividades relacionadas a la infraestructura vial existente y sus características operativas, la información consultada y el procesamiento realizado para su inclusión en el estudio de tráfico de la Radial Heredia – San José.

La caracterización de la oferta es importante en la elaboración del modelo de oferta. Las características físicas y operativas nos permiten determinar el nivel de servicio de una vía, para así calcular la utilidad (tiempo y costo) de esta sobre sus competidoras.

6.1 Características físicas y operativas

En esta sección se describen los principales aspectos físicos y operativos de las vías de la ciudades de San José y Heredia, así como sus áreas colindantes.

6.1.1 Conversión de bases de datos

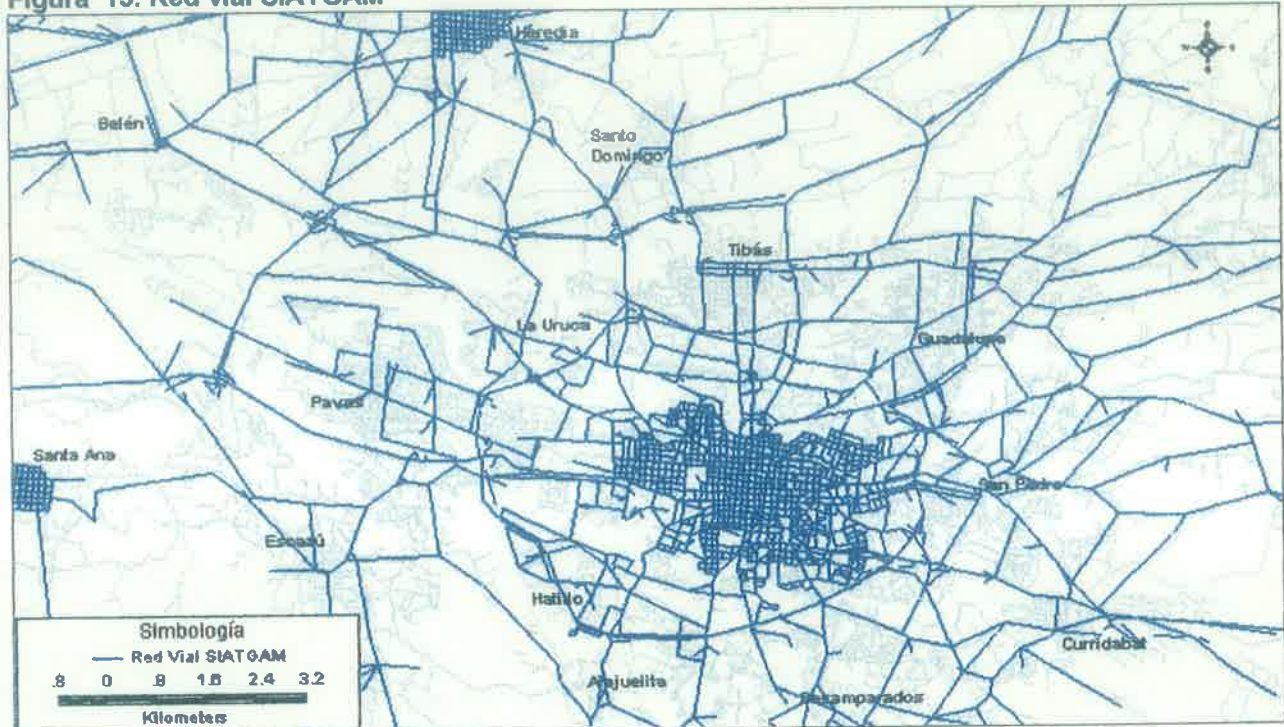
El Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) proporcionó archivos en formato TRANPLAN de la red vial que contaba con los siguientes atributos:

- Longitud del tramo
- Número de carriles por sentido
- Capacidad (vehículos por hora)
- Sentido de circulación
- Velocidad de recorrido y
- Tipo de carretera

La base de datos obtenida por parte del MOPT fue revisada y actualizada utilizando estudios realizados directamente en campo.

Los archivos obtenidos de la base de datos del SIATGAM fueron exportados de la base de datos del TRANPLAN para ser primero utilizados en el Sistema de Información Geográfica (TRANSCAD) donde se actualizó y depuró la red, para después exportarla al programa de modelación de transporte EMME/2. La Figura 15 muestra la red obtenida por parte del MOPT y que forma parte del SIATGAM.

Figura 15. Red vial SIATGAM

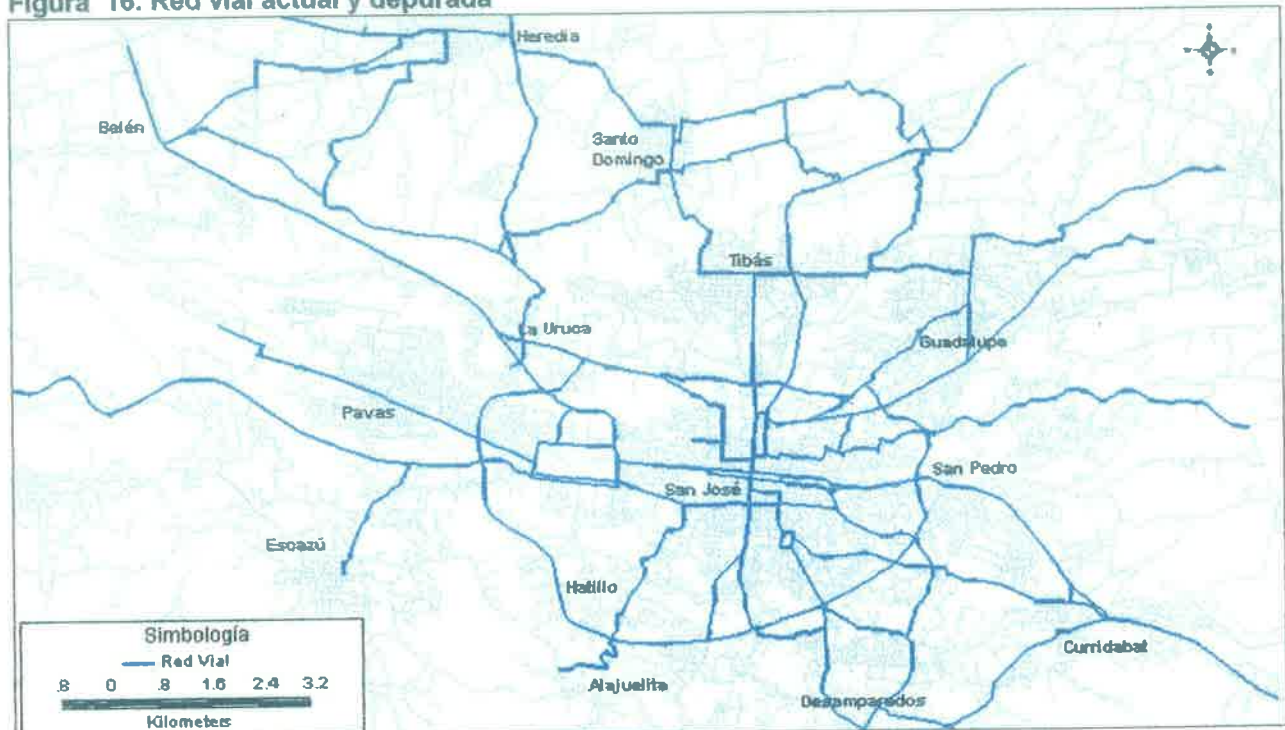


Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la figura, el nivel de detalle de la red es bastante elevado debido a los objetivos específicos del SIATGAM, especialmente en el centro urbano de San José y Heredia. Para el presente estudio la red fue depurada y actualizada, para que el nivel de detalle estuviera acorde con los objetivos del estudio.

Se realizó una depuración de la red para identificar sólo la red principal en el GAM, así como para identificar todas las rutas posibles entre San José y Heredia. La depuración consistió en adaptar la red a la zonificación SIATGAM a la del estudio Radial Heredia – San José. Se eliminaron de la red del SIATGAM vías no principales, así como conectores a zonas que fueron agregadas o divididas para este estudio. La depuración tuvo como resultado la red mostrada en la siguiente Figura 16.

Figura 16. Red vial actual y depurada



Fuente: Elaboración propia

La red depurada fue exportada luego al programa de cómputo EMME/2 para llevar a cabo la simulación y calibración de la red vial actual y de los escenarios futuros posibles.

6.1.2 Características operativas

La ciudad de San José, al igual que un gran número de metrópolis importantes en el mundo, presenta problemas de congestión urbana, lo que se refleja en mayores tiempos de viaje, mayor número de accidentes, contaminación ambiental y en general una disminución en la calidad de vida de sus habitantes. Los congestionamientos son más acentuados en las horas de máxima demanda, sin embargo actualmente se extienden por períodos mayores, ocasionando altos costos para los usuarios del sistema de transporte.

Al evaluar la configuración de la red principal de San José (ver Figura 16), se puede identificar que existe una configuración radial que carece de continuidad en muchos casos y que, además, no cuenta con vías que completen anillos alrededor del centro, a excepción de Circunvalación, la cual no se encuentra completa en su sección Norte. El esquema vial actual es poco eficiente, conllevando a fuertes deterioros en los tiempos de viaje.

De una manera general, la red vial troncal de San José, está constituida por un esquema radial que conecta el centro de actividades (San José) con subcentros satélites que se ubican a su alrededor (Alajuela, Escazú, Zapote, Curridabat, La Uruca, Pavas, Tibás, San Pedro y Heredia). La red actual cuenta con una vía circular, sin completarse en su sección norte, que rodea todo el centro de San José, llamada Avenida de Circunvalación. A parte de las radiales, San José tiene importantes vías que completan la red vial troncal en su parte central como son Paseo Colón, Avenida 10, Calle 42, Autopista Estado de Israel y la Avenida y Calle Central.

Por otro lado, San José cuenta con cuatro accesos carreteros que la comunican con el resto del país. Estos cuatro accesos son autopistas, en las cuales se está actualmente cobrando un peaje. Estos cuatro accesos son: la Autopista General Cañas que conecta a San José con Alajuela y se

convierte en la Autopista Bernardo Soto que se dirige a los puertos del Pacífico como Puntarenas y la provincia de Guanacaste, la Autopista Próspero Fernández que conecta con Escazú, Santa Ana y en proyecto se encuentra su culminación hacia el puerto de Caldera en el Pacífico, la Autopista Florencio del Castillo que conecta a Cartago, y finalmente la Autopista Braulio Carrillo que conecta al Valle Central con Guápiles y la provincia de Limón.

Se pueden destacar como problemas principales de la red vial los siguientes:

- No existen anillos circunvalares al centro, a excepción del conformado por Circunvalación y la Radial La Uruca, siendo que esta última se encuentra fuertemente saturada.
- La región occidental de la ciudad cuenta con muy pocas vías radiales de penetración, siendo la red primaria fuertemente complementada por vías de bajas especificaciones.
- El acceso del norte de la ciudad al centro es bastante pobre, contando sólo con una vía importante que es la Autopista Braulio Carrillo.

En este apartado, se comentan diversos aspectos relativos a las características operativas de las vías de la ciudad, como son las velocidades y tiempos de recorrido, y la ubicación de semáforos.

6.1.2.1 Velocidades y tiempos de recorrido

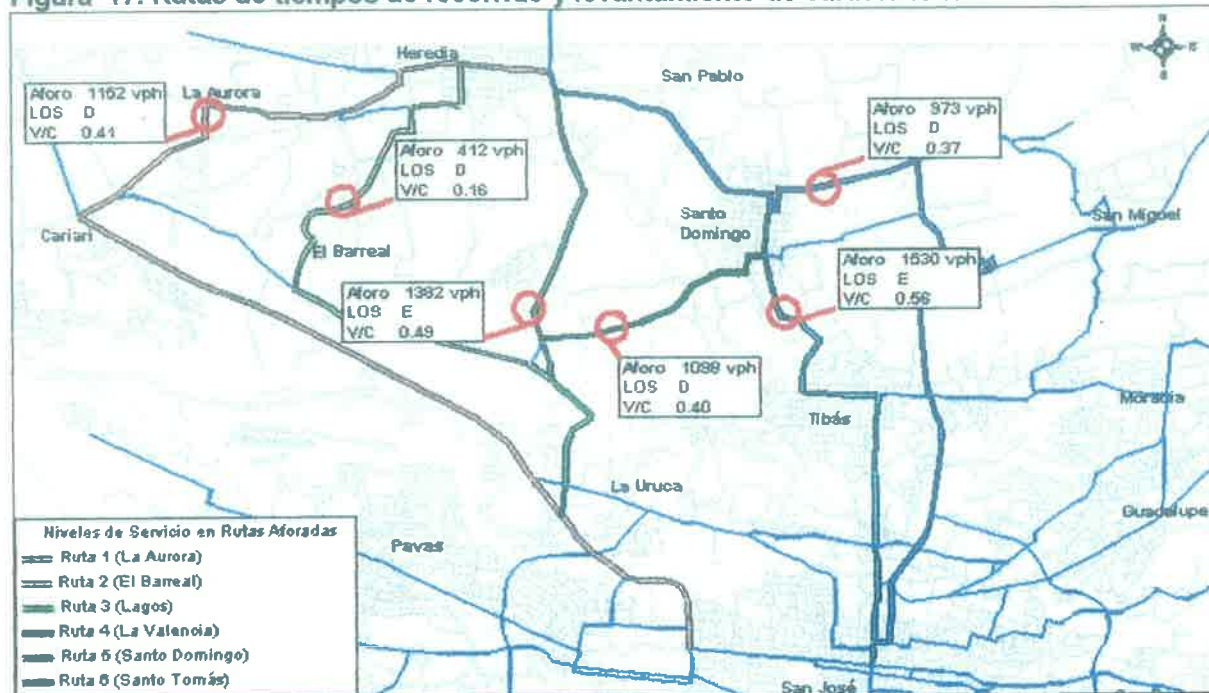
Para conocer las condiciones de operación de las rutas existentes que alimentarán o competirán con la Radial Heredia – San José, se realizaron estudios de tiempos de recorrido por el método del vehículo flotante en el área de influencia. La Figura 17 muestra las rutas recorridas. Se realizaron dos recorridos en hora pico AM, dos recorridos en horas valle y dos recorridos en hora pico PM, para un día entre semana y otro en fin de semana.

La velocidad promedio en el período pico es de 20 kph en los corredores recorridos, se incrementa en un 50% en el período valle llegando a 30 kph. En la zona centro de San José se desarrollan velocidades bajas en el rango del 9 a 13 kph. En cambio, en la ruta 4 (La Valencia – Santo Domingo) se registran las mayores velocidades en un rango de 16 a 39 kph.

En la Tabla 19 se observan todas las velocidades registradas entre semana y en fin de semana en los períodos analizados y mostrados en la Figura 18.

La descripción detallada de los estudios desarrollados y su metodología se encuentra en el Informe de Trabajos de Campo.

Figura 17. Rutas de tiempos de recorrido y levantamiento de características físicas



Fuente: Elaboración propia

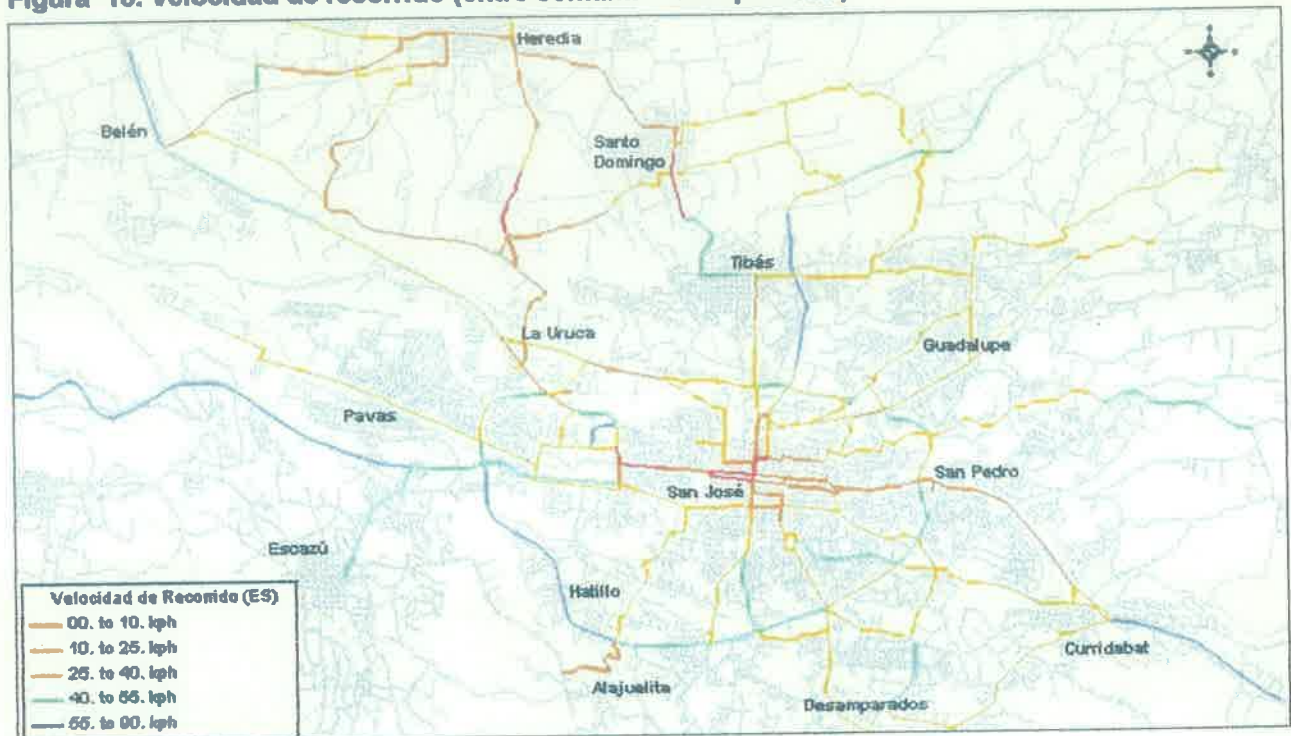
Tabla 19. Resumen del estudio de velocidades

| | SENTIDO | DISTANCIA | ENTRE SEMANA | | | FIN DE SEMANA | | |
|---------------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | HORA | | | HORA | | |
| | | | PICO AM | VALLE | PICO PM | PICO AM | VALLE | PICO PM |
| Ruta 1 | H | 15.86 | 19.27 | 42.36 | 22.44 | 39.53 | 53.64 | 37.74 |
| | SJ | 15.78 | 19.63 | 35.17 | 20.00 | 38.99 | 44.92 | 38.59 |
| | | 31.64 | 19.45 | 38.77 | 21.22 | 39.26 | 49.28 | 38.17 |
| Ruta 2 | H | 12.81 | 21.81 | 27.26 | 23.32 | 30.94 | 37.12 | 32.50 |
| | SJ | 12.97 | 21.83 | 28.47 | 22.65 | 29.94 | 41.14 | 29.41 |
| | | 25.78 | 21.82 | 27.87 | 22.99 | 30.44 | 39.13 | 30.96 |
| Ruta 3 | H | 8.26 | 22.71 | 28.26 | 19.26 | 33.44 | 38.5 | 29.38 |
| | SJ | 8.26 | 20.64 | 30.36 | 20.26 | 45.8 | 38.08 | 30.81 |
| | | 16.52 | 21.68 | 29.31 | 19.76 | 39.62 | 38.29 | 30.00 |
| Ruta 4 | H | 3.04 | 28.61 | 37.42 | 21.27 | 41.69 | 49.41 | 31.40 |
| | SJ | 3.04 | 24.16 | 39.80 | 25.33 | 34.58 | 43.43 | 34.04 |
| | | 6.08 | 26.39 | 38.61 | 23.3 | 38.135 | 46.42 | 32.72 |
| Ruta 5 | H | 10.6 | 19.14 | 27.79 | 19.48 | 34.46 | 40.11 | 34.12 |
| | SJ | 11.1 | 20.2 | 31.06 | 20.29 | 31.56 | 38.66 | 33.34 |
| | | 21.7 | 19.67 | 29.43 | 19.88 | 33.01 | 39.39 | 33.73 |
| Ruta 6 | H | 11.6 | 23.9 | 32.98 | 21.93 | 31.22 | 39.26 | 33.01 |
| | SJ | 12.28 | 26.92 | 36.16 | 23.08 | 30.63 | 38.63 | 30.88 |
| | | 23.88 | 25.41 | 34.57 | 22.51 | 30.93 | 38.95 | 31.95 |
| Ruta San José | H | 2.25 | 8.96 | 11.82 | 8.13 | 12.94 | 21.76 | 10.25 |
| | SJ | 3.38 | 8.9 | 12.14 | 8.17 | 12.46 | 18.43 | 18.13 |
| | | 5.63 | 8.93 | 11.98 | 8.15 | 12.7 | 20.10 | 14.19 |

Nota: H – Sentido hacia Heredia
 SJ – Sentido hacia San José

Fuente: Elaboración propia con datos de campo

Figura 18. Velocidad de recorrido (entre semana – hora pico AM)



Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Características físicas

Mediante los estudios de campo, se recopiló información que sirvió para analizar la red vial, así como para su utilización en la etapa de modelación. En el caso de las características físicas, se obtuvieron datos relevantes que se presentan en la Tabla 20. En el levantamiento de características físicas realizado en las rutas mencionadas en el apartado anterior, estas es la información que fue recabada:

- Estado del pavimento
- Estado del señalamiento vertical y horizontal
- Tipo de pavimento
- Número de carriles
- Ancho de carril
- Ancho de espaldón
- Ancho de isla separadora
- Tipo de vía
- Tipo de terreno y
- Nombre de la vía

El levantamiento de características fue hecho por medio de recorridos realizados en las seis rutas mencionadas en el apartado anterior. La red vial fue clasificada en relación a su función operacional. Los tipos de vía utilizados son los siguientes:

| Tipo de Vía | Nombre | Ejemplo |
|-------------|--------------------------|---------------------------|
| 11 | Vía local | Avenida 7 |
| 12 | Vía colectora | Avenida 10 |
| 13 | Vía principal | Avenida de Circunvalación |
| 14 | Vía de acceso controlado | Autopista General Cañas |
| 15 | Proyecto Radial Heredia | |

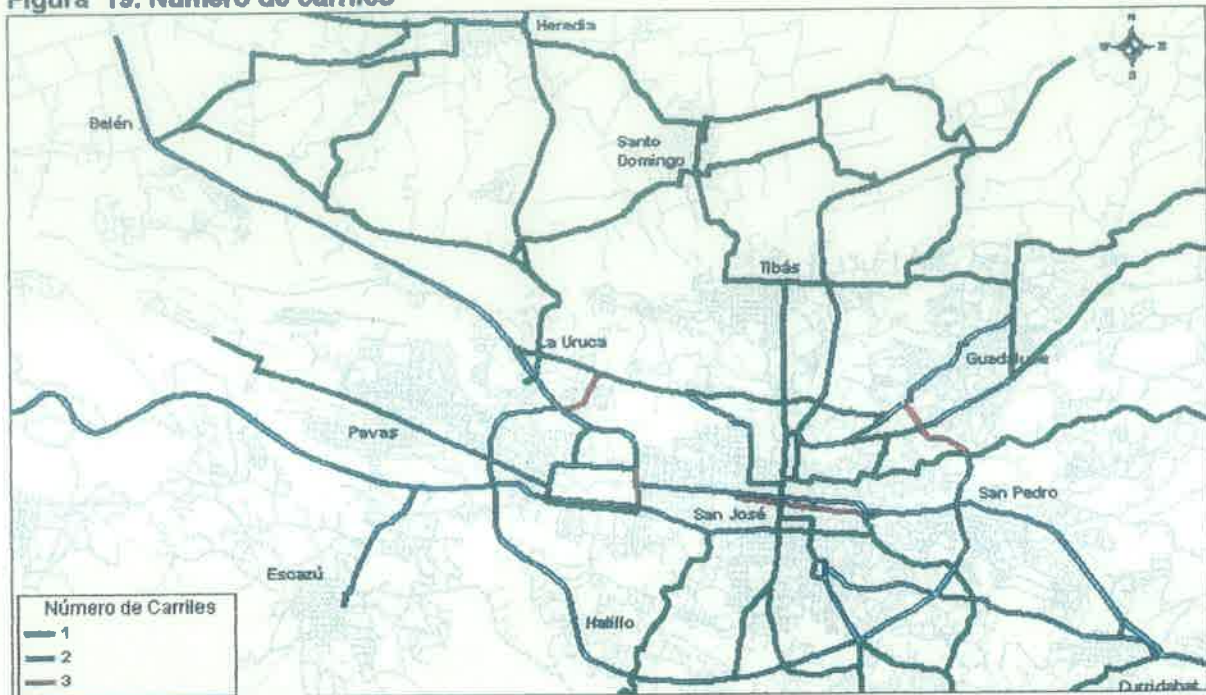
Se recorrieron 65.61 kilómetros de la red de estudio, de los cuales el 56% es de un carril por sentido y el 41% cuenta con dos carriles por sentido. Predomina el tipo de pavimento de concreto asfáltico con más del 80%. Las condiciones en que se encuentra la superficie son buenas en un 83%. En cuanto al señalamiento, se observó que este se encuentra en condiciones de buenas a regulares en su totalidad.

Tabla 20. Resumen del estudio de características físicas

| No. Ruta | Estado | Pavimento (km) | Señalamiento | | Pavimento (km) | Número de carriles (#) – (km) | Ancho de carril (m) – (km) | | | |
|-------------------|-----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | Vertical (km) | Horizontal (km) | | | | | | |
| 1 Aurora | Bueno | 16.48 | 10.71 | 15.66 | Asfalto | 9.06 | 1 | 4.94 | 3.30 | 12.36 |
| | Regular | 0.00 | 4.12 | 0.00 | Hidráulico | 5.77 | 2 | 10.71 | 3.50 | 0.82 |
| | Malo | 0.00 | 1.65 | 0.82 | Otros | 1.65 | 3 | 0.82 | 3.60 | 2.47 |
| | Subtotal | 16.48 | 16.48 | 16.48 | | 16.48 | | 16.48 | | 16.48 |
| 2 Barreal | Bueno | 9.28 | 0.66 | 7.29 | Asfalto | 12.59 | 1 | 6.63 | 3.30 | 7.95 |
| | Regular | 1.33 | 6.63 | 0.66 | Hidráulico | 1.33 | 2 | 6.63 | 3.50 | 0.00 |
| | Malo | 3.31 | 6.63 | 5.97 | Otros | 0.00 | 3 | 0.66 | 3.65 | 5.97 |
| | Subtotal | 13.92 | 13.92 | 13.92 | | 13.92 | | 13.92 | | 13.92 |
| 3 Lagos | Bueno | 2.34 | 2.34 | 1.17 | Asfalto | 5.85 | 1 | 3.12 | 3.30 | 0.78 |
| | Regular | 2.34 | 2.73 | 3.51 | Hidráulico | 0.39 | 2 | 2.34 | 3.50 | 3.51 |
| | Malo | 1.56 | 1.17 | 1.56 | Otros | 0.00 | 3 | 0.78 | 3.60 | 1.56 |
| | Subtotal | 6.24 | 6.24 | 6.24 | | 6.24 | | 6.24 | | 6.24 |
| 4 Valencia | Bueno | 6.73 | 6.73 | 6.73 | Asfalto | 6.73 | 1 | 6.73 | 3.30 | 0.00 |
| | Regular | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Hidráulico | 0.00 | 2 | 0.00 | 3.50 | 6.73 |
| | Malo | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Otros | 0.00 | 3 | 0.00 | 3.60 | 0.00 |
| | Subtotal | 6.73 | 6.73 | 6.73 | | 6.73 | | 6.73 | | 6.73 |
| 5 Sto. Domingo | Bueno | 9.42 | 6.45 | 6.94 | Asfalto | 9.92 | 1 | 6.45 | 3.30 | 5.95 |
| | Regular | 0.00 | 1.98 | 0.99 | Hidráulico | 0.00 | 2 | 3.47 | 3.50 | 3.97 |
| | Malo | 0.50 | 1.49 | 1.98 | Otros | 0.00 | 3 | 0.00 | | 0.00 |
| | Subtotal | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| | | 9.92 | 9.92 | 9.92 | | | 9.92 | | 9.92 | |
| 6 Sto. Tomás | Bueno | 10.42 | 4.26 | 6.16 | Asfalto | 8.53 | 1 | 8.53 | 2.20 | 2.17 |
| | Regular | 1.42 | 1.42 | 1.42 | Hidráulico | 3.32 | 2 | 3.79 | 3.00 | 2.96 |
| | Malo | 0.47 | 6.63 | 4.74 | Otros | 0.47 | 3 | 0.00 | 3.30 | 3.25 |
| | | | | | | | | | 4.00 | 3.94 |
| Subtotal | 12.32 | 12.32 | 12.32 | | 12.32 | | 12.32 | | 12.32 | |
| TOTAL (km) | | 65.61 | 65.61 | 65.61 | | 65.61 | | 65.61 | | 65.61 |

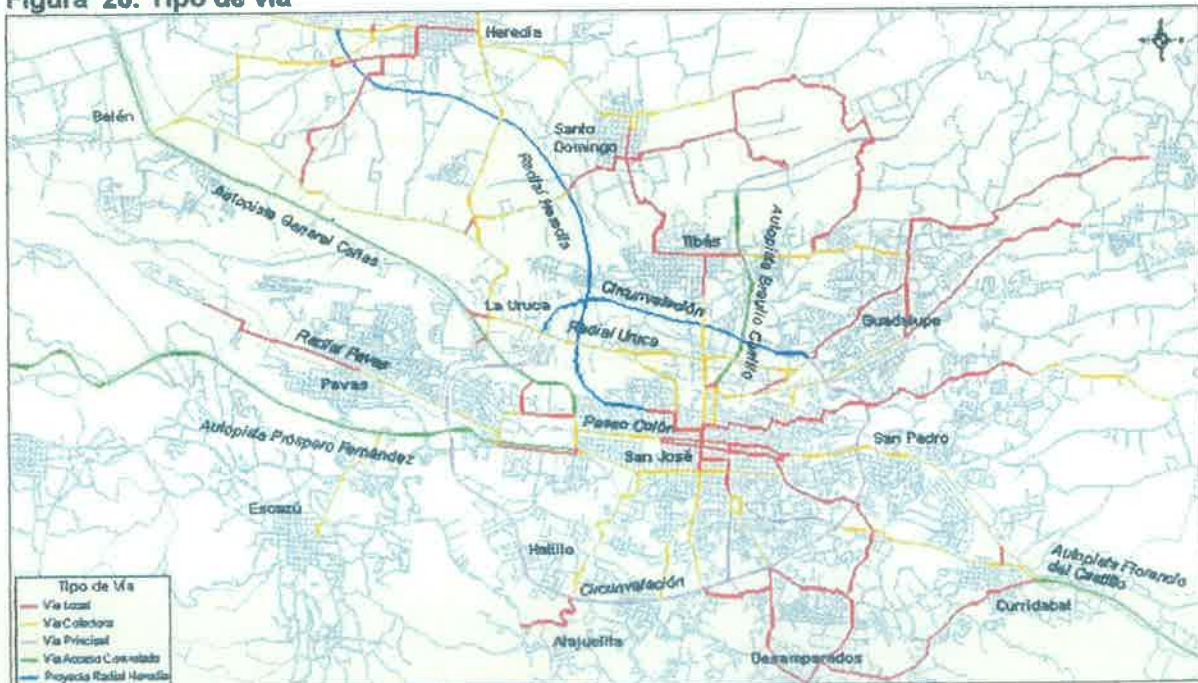
Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Número de carriles



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Tipo de vía



Fuente: Elaboración propia



con mayor crecimiento porcentual en el período 1987-1998 han sido las estaciones No. 127, 131 y 600; ubicadas en El Barreal de Heredia, La Valencia y San Pablo de Heredia con crecimientos superiores al 10% anual. El promedio anual de todas las estaciones analizadas es de un 7.08%.

Tabla 21. Resumen de análisis de conteos históricos

| Estación MOPT | TPDA (2001) | Tasa de Crecimiento (1987 – 1998) |
|---------------|-------------|-----------------------------------|
| 002 | 36,808 | 6.27 % |
| 101 | 79,927 | 6.66 % |
| 106 | 81,834 | 7.35 % |
| 119 | 32,200 | 3.05 % |
| 120 | 57,476 | 4.14 % |
| 125 | 42,204 | 4.51 % |
| 127 | 18,916 | 10.99 % |
| 128 | 13,901 | 8.91 % |
| 131 | 14,635 | 10.61 % |
| 134 | 34,642 | 3.45 % |
| 136 | 37,286 | 7.29 % |
| 139 | 17,153 | 3.38 % |
| 141 | 35,666 | 8.81 % |
| 142 | 4,795 | 8.22 % |
| 143 | 33,833 | 9.03 % |
| 600 | 8,328 | 10.60 % |

Fuente: Elaboración propia

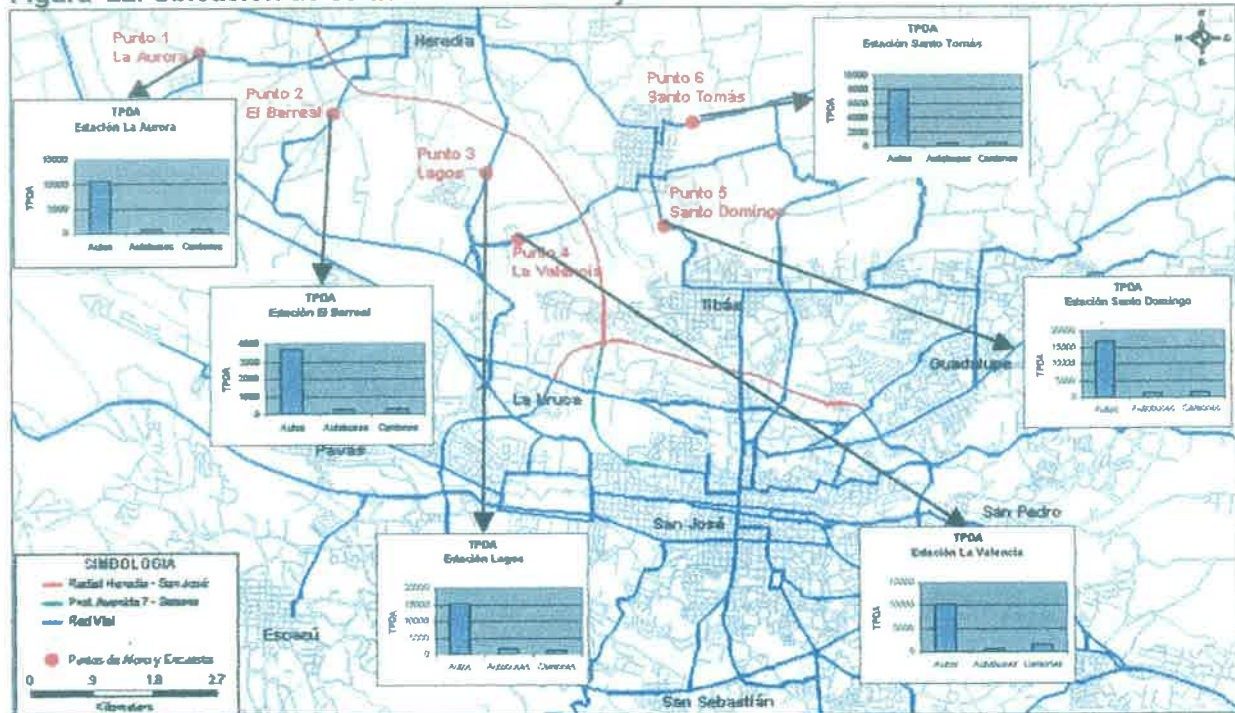
6.2.2 Aforos actuales

Con el fin de validar la información existente sobre volúmenes de tránsito de la red vial de San José y Heredia y comparar los valores obtenidos con los estudios anteriores, se desarrollaron conteos vehiculares sobre seis (6) corredores importantes de la red vial entre Heredia y San José. En la Figura 22 se muestra la ubicación de los puntos de conteo seleccionados.

En las seis estaciones de conteo, se captó el flujo de vehículos durante 7 días, en períodos de 16 horas (06:00 – 22:00) y de 24 horas en los puntos y días donde se realizaron encuestas origen – destino. La ubicación de las estaciones fue establecida con el objetivo de captar todo el tráfico entre Heredia y San José.

En estos sitios de estudio tenemos que, el día que mayor movimiento se registra entre semana es el viernes y en fin de semana el día sábado. En la estación Lagos se registra el mayor volumen con más de 25,099 vehículos en el día de mayor demanda. En la Figura 23 se observa el comportamiento semanal del tráfico para cada estación con base a los aforos diarios hechos durante 16 horas.

Figura 22. Ubicación de estaciones de conteo y encuesta



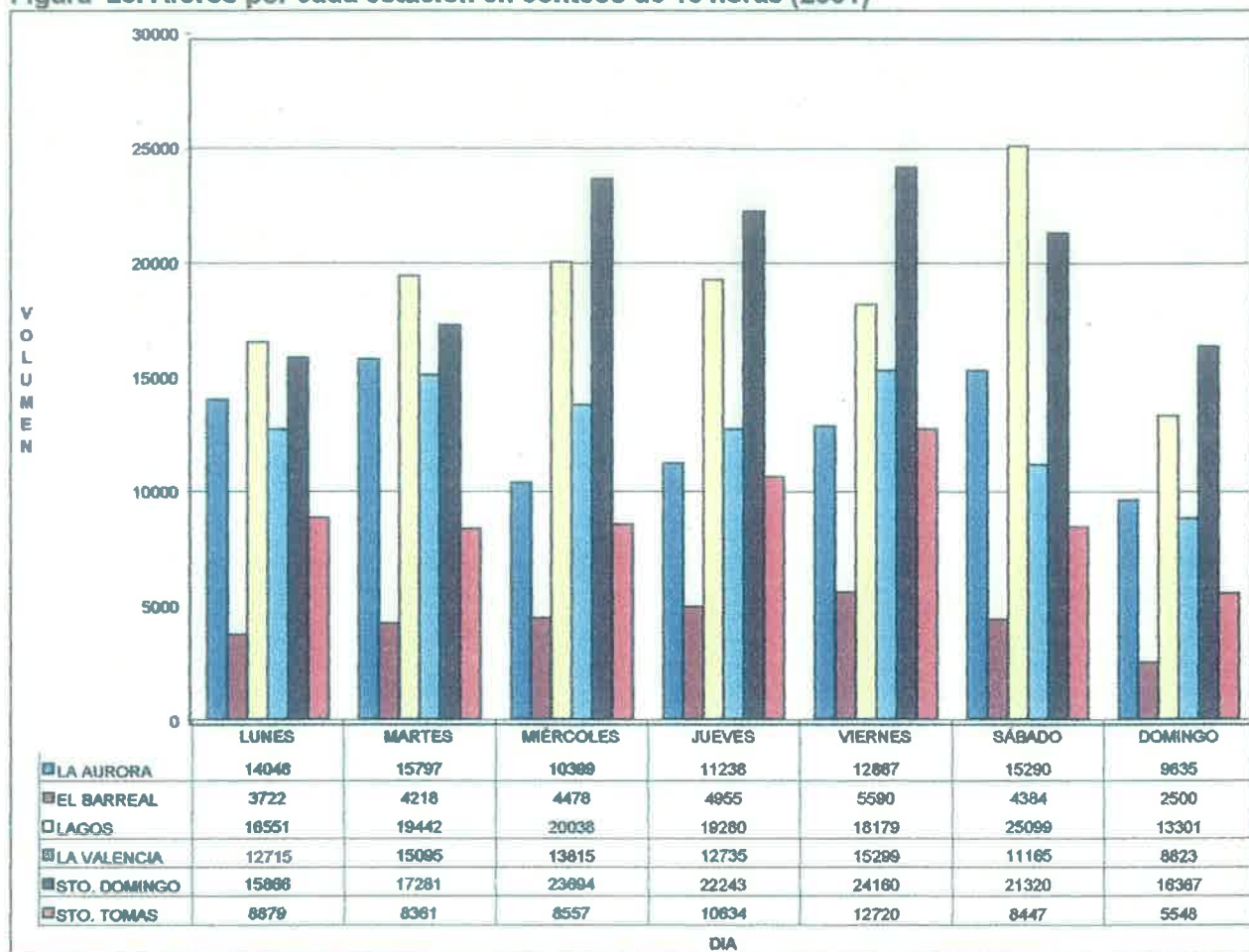
Fuente: Elaboración propia

El comportamiento horario se obtuvo con aforos de 24 horas, realizados simultáneamente a las encuestas origen – destino y preferencia declarada. Los resultados se emplearon de base para la expansión de la muestra de la encuesta origen – destino.

El período donde se presentan los máximos volúmenes de tránsito son en la mañana de un día de 07:00 a 09:00 hrs. y en la tarde de 17:00 a 19:00 hrs. En fin de semana, durante la mañana no se presenta un pico importante, siendo en la tarde donde la máxima demanda se registra entre las 16:00 y 18:00 hrs.

Los automóviles tienen la principal participación del flujo diario en la mayoría de las estaciones entre semana, con más del 83% en promedio. El transporte de carga y el de pasajeros (autobús o microbús) tienen en términos generales una participación similar (8.5 % aproximadamente). En fin de semana se incrementa aún más la participación de los automóviles, llegando hasta el 95 % en algunas estaciones. Se debe mencionar que el transporte público participa con un 10% promedio del aforo diario.

Figura 23. Aforos por cada estación en conteos de 16 horas (2001)



Fuente: Elaboración propia

6.3 Red futura

Los escenarios para los cuales se realizó el análisis de la demanda consideraron los años horizonte de modelación: 2006, 2011, 2016, 2021 y 2026.

Los escenarios viales considerados para la estimación de tránsito de la Radial Heredia – San José se fundamentan en los proyectos planeados de infraestructura y operación de las vías del Gran Área Metropolitana (GAM), así como en los planes de transporte que afectan el mercado potencial del proyecto. Para este efecto, se incluyen aquellos proyectos marcados en los planes de desarrollo del GAM, los cuales han sido corroborados por funcionarios del MOPT.

A continuación se listan los diferentes proyectos que serán tomados en cuenta en los escenarios de modelación, así como el año horizonte de cada uno.

Escenario base (2006). El escenario base incluye la red primaria existente en el GAM y el proyecto Radial Heredia - San José. La Radial Heredia - San José y Circunvalación Norte contemplan el uso de dos carriles por sentido con acceso controlado. También se incluye la Radial Desamparados, debido a una recomendación del MOPT, que iniciará operaciones en el año 2002. Se incluye la nueva vía entre Toumón y la Radial Uruca también.

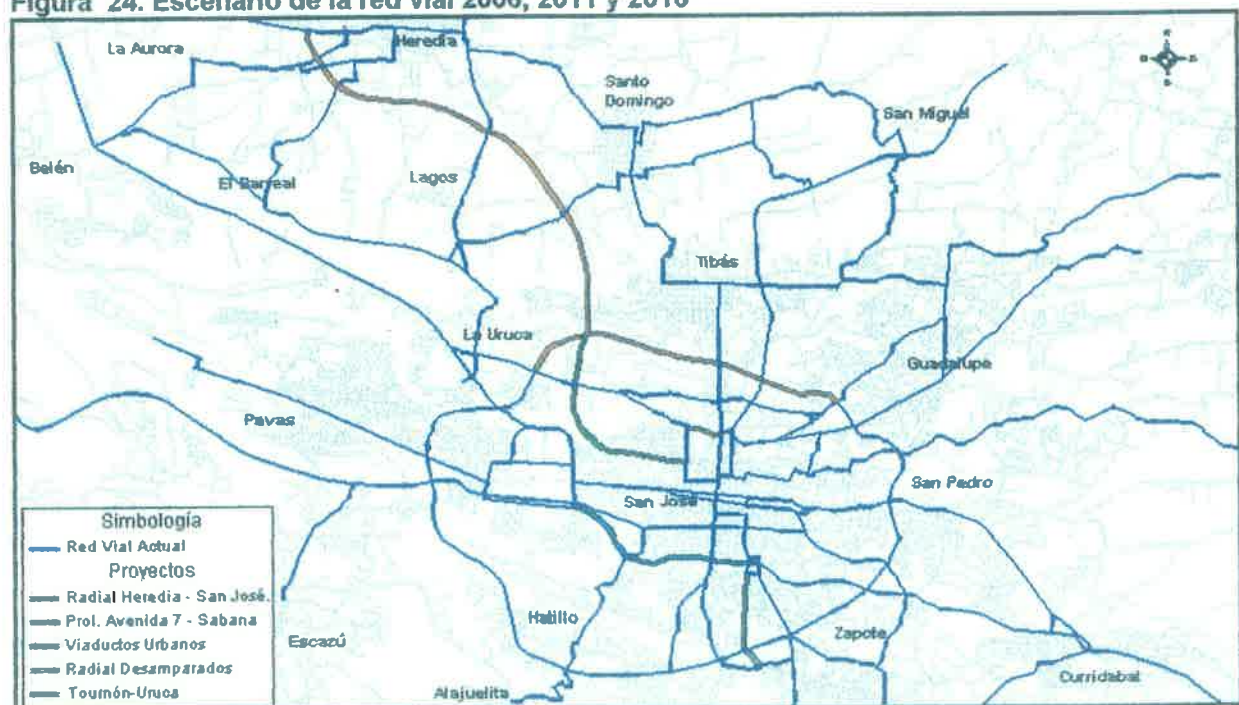
El proyecto Radial Heredia – San José incluye un trazo que recorre los siguientes puntos: inicio en Av. 7, Quebrada Lantisco, Cruce Río Torres, Planta de Sur Química, Plaza de La Uruca, Cruce Quebrada Rivera, Barrio León XIII, Cruce Río Virilla, Santa Rosa, Price Smart, San Francisco de Heredia. El proyecto incluye la conclusión de la Avenida de Circulación, desde La Uruca hasta Calle Blancos.

Se considera la operación del proyecto Viaductos Urbanos planeados por el MOPT en este escenario, que incluye solo el tramo en dirección este – oeste. Se incluye también la ampliación de la Autopista General Cañas a 6 carriles y la construcción de un pequeño enlace entre la General Cañas y la carretera a Barreal sobre el trazado del Anillo Periférico. También se incluye la ampliación de la vía San José- Caldera, la cual afectaría posiblemente viajes entre el GAM y el Pacífico. Se incluye también en el año 2006 la prolongación a Sabana Norte y Avenida Séptima.

Otro proyecto incluido en este escenario es la concesión San José – Cartago que tiene tres tramos que se afectan de la siguiente manera (según datos del MOPT): una ampliación a seis carriles entre Plaza Víquez y la Rotonda de las Garantías Sociales, un paso inferior de la carretera Circunvalación ampliada a 6 carriles entre la Y-griega y la Rotonda de las Garantías Sociales, un tramo nuevo entre esta misma rotonda y Hacienda Vieja de 6 carriles y una ampliación a 6 vías de la carretera entre Hacienda Vieja y Cartago.

Los escenarios correspondientes a los años 2011 y 2016 permanecen constantes, debido a que no existen cambios importantes previstos o que pueden afectar el funcionamiento de la Radial Heredia – San José.

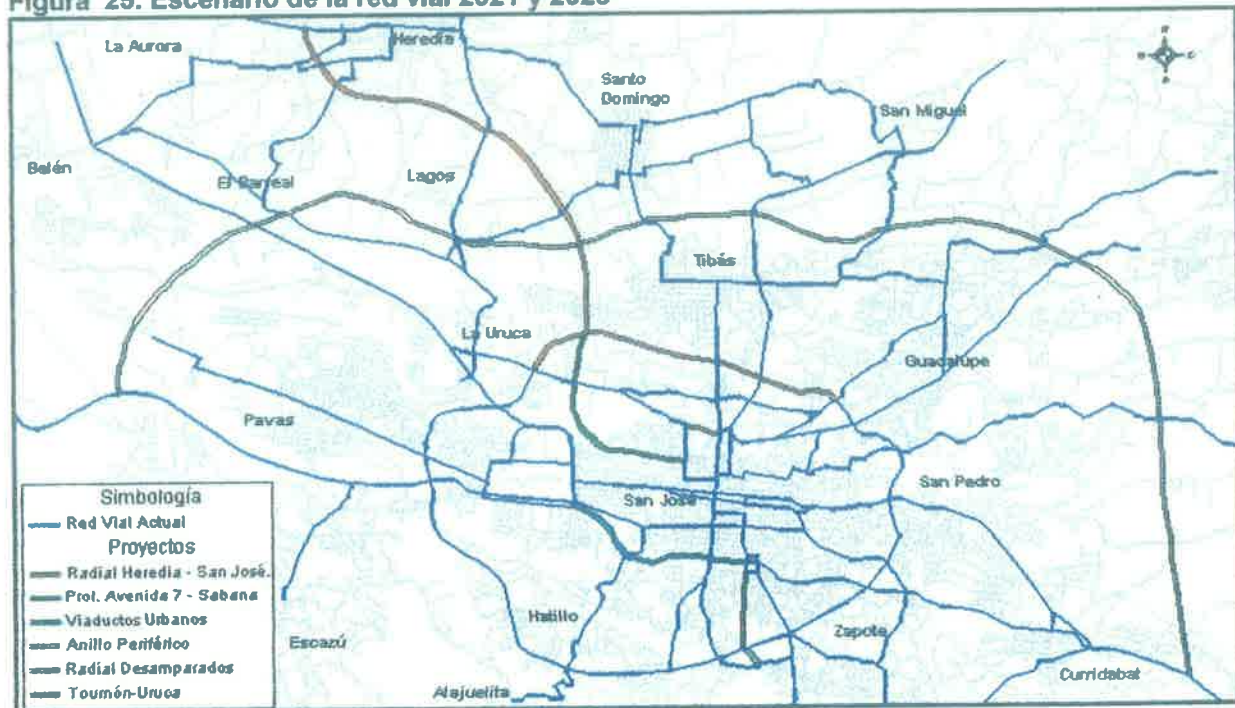
Figura 24. Escenario de la red vial 2006, 2011 y 2016



Fuente: Elaboración propia

Escenario 2021. El escenario 2021 incluye el proyecto del Anillo Periférico. Este proyecto fue incluido en este año porque, como se puede verificar en el capítulo de la evaluación económica y financiera, es en este año donde su inicio de operaciones no afecta significativamente la factibilidad del proyecto de la Radial. El trazo del Anillo Periférico “compite” con el de la Radial, especialmente el relacionado con la Avenida de Circunvalación Norte.

Figura 25. Escenario de la red vial 2021 y 2026



Fuente: Elaboración propia

7 DEMANDA

La demanda de viajes es representada a través de matrices que permiten conocer el patrón de desplazamientos de los usuarios actuales del sistema de transporte del Gran Área Metropolitana (GAM), identificando los potenciales usuarios de la Radial Heredia – San José. En este capítulo se comenta sobre las características de los viajes en la ciudad y se describe la metodología utilizada para la obtención de las matrices de viajes, incluyendo: las fuentes de información utilizadas, los procesos y supuestos aplicados, así como los resultados obtenidos.

Las matrices origen – destino reflejan la demanda existente de transporte privado en el área de influencia. Las matrices obtenidas o investigadas indican la demanda potencial de la Radial Heredia – San José.

Como fue mencionado en el apartado de revisión información documental y de campo, se tuvieron dos fuentes de información de matrices de origen – destino en el Gran Área Metropolitana (GAM). La primera fuente analizada fue proporcionada por el MOPT y corresponde a uno de los módulos del SIATGAM. La segunda fuente de origen – destino fue obtenida por medio de las encuestas realizadas sobre las vías entre San José y Heredia. A continuación se describen las características cada una de las matrices, así como los análisis realizados a cada uno de ellas.

7.1 Matriz de demanda del SIATGAM

El proyecto denominado Estudio del Transporte del Gran Área Metropolitana (ETUGAM), realizado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y financiado con fondos del Departamento de Pre-Inversión de MIDEPLAN, analizó las principales características del transporte dentro del área metropolitana de San José y el Valle Central.

Uno de los principales objetivos del estudio fue establecer el patrón de viajes en el GAM. Para lo anterior fue necesario realizar encuestas en campo. Para el desarrollo de ese proyecto, se realizaron tres tipos de encuesta: una a los hogares del GAM, otra a los vehículos y personas circulando por puntos seleccionados de la red carretera, y la última a vehículos de carga en puntos específicos de la red.

7.1.1 Características de los viajes

Las encuestas realizadas en el ETUGAM (Estudio del Transporte Urbano del GAM, 1991) mostraron las siguientes características de los viajes en el GAM:

- La población total en el GAM era de 1,517,273 habitantes
- El promedio de integrantes por familia era de 4.585 miembros
- El promedio de miembros de familia que trabajan era de 1.65 miembros
- El promedio de miembros de familia que estudian era de 1.25 miembros
- Los períodos pico de viajes eran entre las 6 y 8 AM y entre las 4 y 7 PM
- El número de vehículos por familia era de 0.33 o 3 familias por vehículo
- La tasa de motorización en el GAM era de 13.8 habitantes por vehículo
- Casi la tercera parte de las personas salía de sus casas a las 6:30 AM
- El principal motivo de viaje era trabajo
- El principal modo de transporte era el autobús público
- La mayoría de los viajes entre semana se realizan en miércoles (24.43%)

El resultado del ETUGAM fue la obtención de modelos que reflejaban el estado del sistema de transporte en el GAM en el año de 1990. Entre los resultados obtenidos, uno fue la generación de

una matriz de viajes totales para el GAM. La matriz generada incluye viajes en todos los medios de transporte disponibles. Sin embargo, para los fines específicos de este estudio, se revisaron y analizaron sólo los viajes realizados en automóvil.

El SIATGAM (Sistema de Análisis del Transporte en el GAM) es una parte del ETUGAM y consiste en el sistema de modelación del transporte urbano en el GAM. El SIATGAM tomó como base las matrices obtenidas del ETUGAM para realizar los análisis correspondientes.

Los viajes de la matriz total del SIATGAM fueron caracterizados por el modo de transporte utilizado y el motivo que originó el viaje. En cuanto al motivo de viaje, el motivo trabajo participaba con un 46% del total de los viajes, el motivo estudio participaba con un 34% y finalmente 19% del total de los viajes eran por algún otro motivo. El modo de transporte más utilizado fue el transporte público en sus diferentes modalidades con un 58% del total de los viajes. El 12% de los viajes era realizado en automóvil y un 28% a pie u otro modo de transporte (ver. Tabla 22).

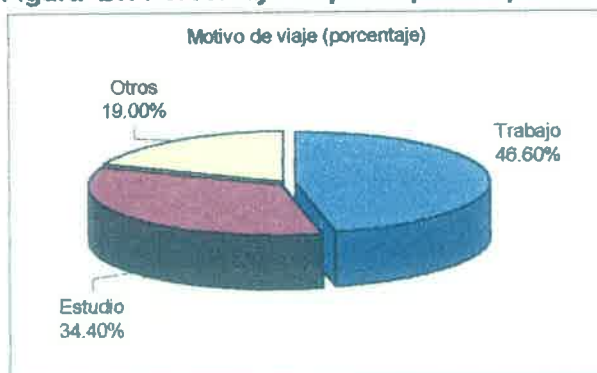
Tabla 22. Características de los Viajes de la Matriz del SIATGAM

| Motivo de Viaje | Porcentaje | Modo de Transporte | Porcentaje |
|---------------------|------------|---------------------|------------|
| Trabajo | 46.60 % | Autobús Público | 50.30 % |
| Estudio Primaria | 19.50 % | Autobús Escolar | 3.10 % |
| Estudio Secundaria | 11.80 % | Autobús Universidad | 0.90 % |
| Estudio Universidad | 3.10 % | Microbús Público | 2.60 % |
| Médico | 0.90 % | Microbús Privado | 1.30 % |
| Compras o Personal | 2.90 % | Automóvil Conductor | 7.50 % |
| Social o Recreación | 0.70 % | Automóvil Pasajero | 4.60 % |
| Servir Pasajero | 1.70 % | Taxi | 0.60 % |
| Transbordo | 11.60 % | Motocicleta | 0.80 % |
| Otro | 1.20 % | A pie u Otro | 28.30 % |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

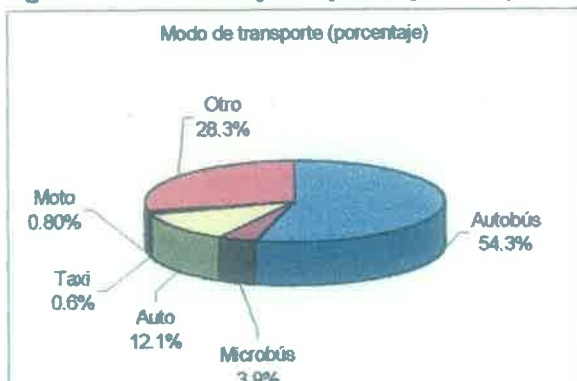
La Figura 26 y la Figura 27 muestran el porcentaje de participación por motivo de viaje y modo de transporte dentro de la matriz del SIATGAM.

Figura 26. Porcentaje de participación por motivo de viaje todos los modos de transporte



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

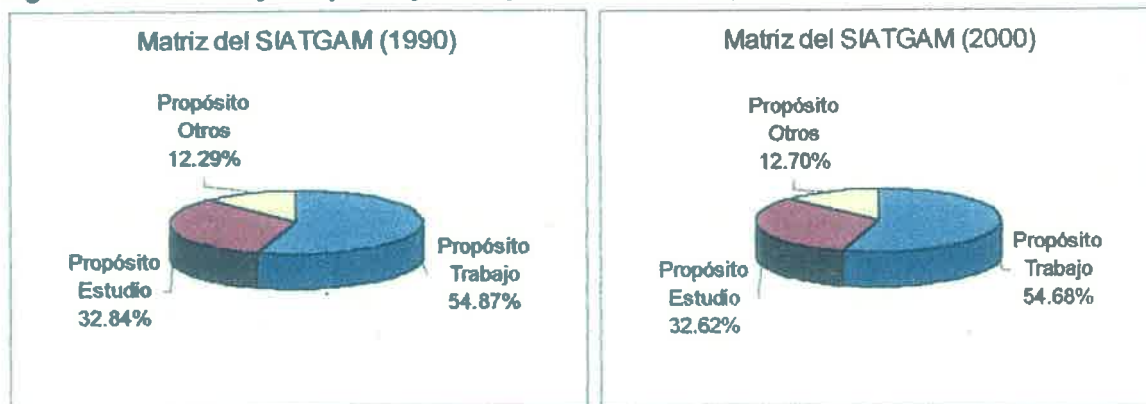
Figura 27. Porcentaje de participación por modo de transporte



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

La matriz utilizada en el estudio fue proporcionada por personal del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). La matriz está estratificada por motivo de viaje: trabajo, estudio y otros. La matriz fue proporcionada tanto para su año base (1990) como para la proyección del MOPT para el año 2000. La matriz incluye viajes por hora realizados en automóvil entre semana y durante el período pico de la mañana, el cual está comprendido entre las 6:00 AM y las 8:00 AM. Los viajes indicados en la matriz son viajes por hora en automóvil. La Figura 28 incluye la distribución de viajes por motivo de viaje en medio de transporte privado para 1990.

Figura 28. Porcentaje de participación por motivo de viaje (viajes en medio privado)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

La Tabla 23 muestra la distribución de los viajes por motivo para los años 1990 y 2000. Se observa que el motivo trabajo es el que prevalece, lo cual es consistente con otros estudios. Los viajes mostrados son para la hora pico de la mañana.

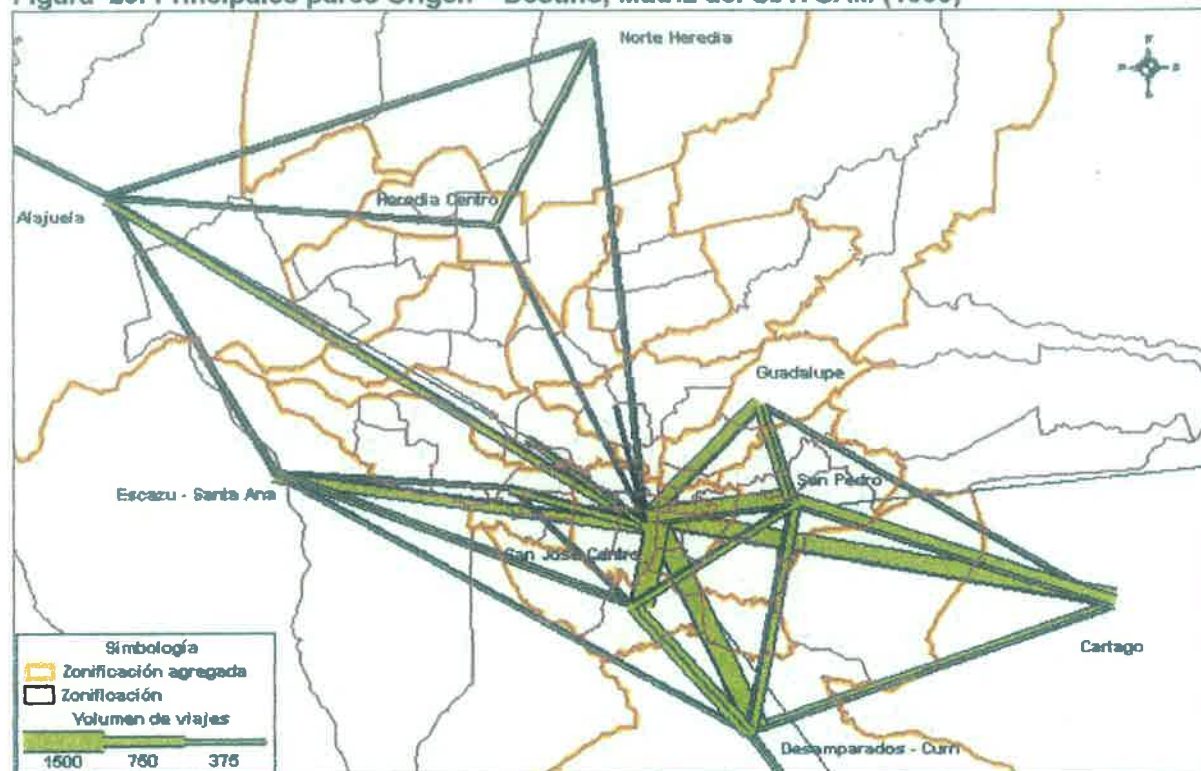
Tabla 23. Distribución de Viajes de Matrices del SIATGAM

| Viajes en medio privado | Año 1990 | Año 2000 |
|-------------------------|----------|----------|
| Totales | 42,335 | 74,439 |
| Propósito Trabajo | 23,228 | 40,700 |
| Propósito Estudio | 13,902 | 24,284 |
| Propósito Otros | 5,205 | 9,455 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

La Figura 29 muestra los principales pares origen – destino en automóvil de la matriz del SIATGAM 1990. Se realizó una agregación de zonas a los viajes en 1990 para su representación.

Figura 29. Principales pares Origen – Destino, Matriz del SIATGAM (1990)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

La mayoría de los pares origen – destino con alta demanda de viajes muestran la direccionalidad del tránsito hacia la parte del cantón Central de San José. Además se observa la demanda importante que existe entre la parte central de San José y las áreas este, sur y sudeste de la ciudad, es decir, las áreas de Guadalupe, San Pedro, Curridabat, Zapote, Desamparados, Hatillo, San Sebastián y Cartago. El tránsito desde ésta área hacia San José es mayor que el que proviene de las áreas al norte y oeste de San José.

La Tabla 24, indica los pares origen – destino con mayor demanda para la matriz del SIATGAM de 1990. El patrón de viajes se mantiene para la misma matriz proyectada al 2000, sólo con más viajes entre sí. Para realizar este análisis se realizaron zonas de agregación, las cuáles sirven exclusivamente para representación de los viajes.

La producción y atracción de viajes por zona dentro del área metropolitana puede ser identificada en la Figura 30 y la Figura 31.

En cuanto a la atracción de viajes, se puede observar que el centro de San José es el área que más viajes atrae. Así como los demás distritos del Cantón Central de San José. Las zonas de Heredia, Santo Domingo y el área de Belén son las que mayores atracciones por kilómetro cuadrado tienen.

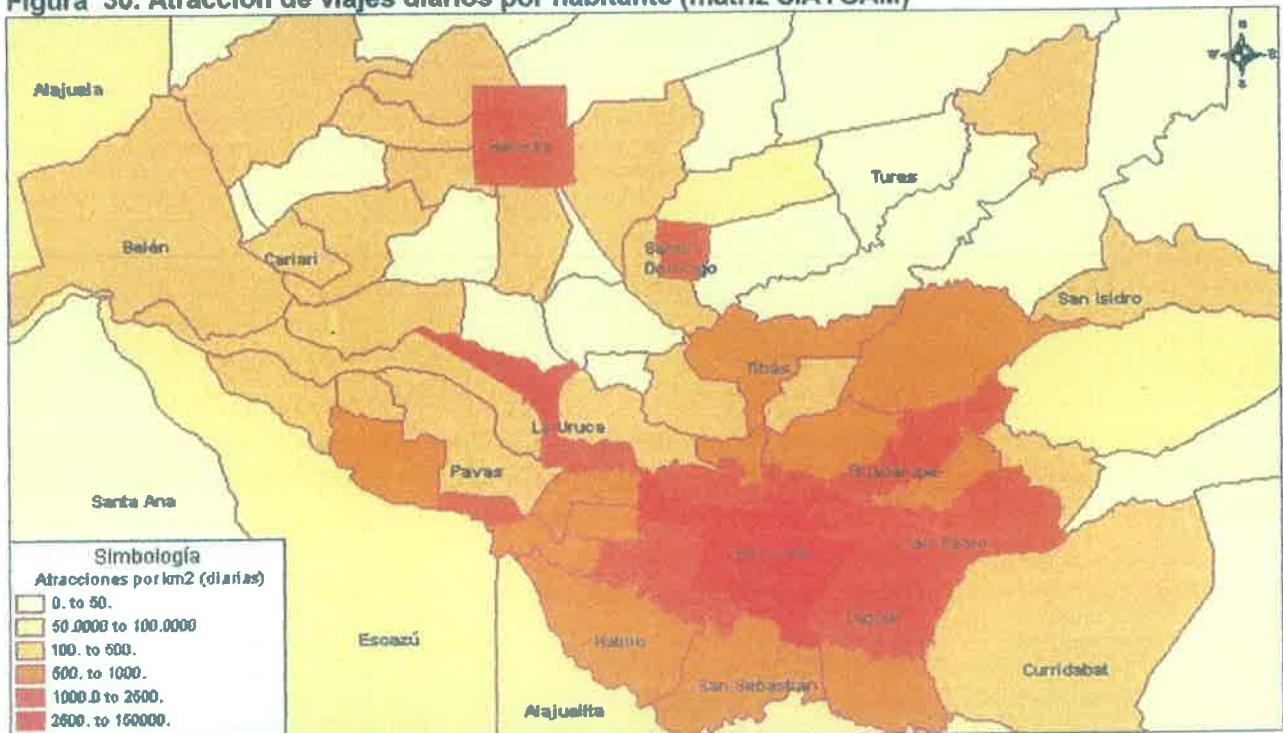
Tabla 24. Principales pares Origen-Destino

| Pares Origen – Destino | Porcentaje | Viajes en hora pico AM (1990) |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------|
| Hatillo, San Sebastián – San José | 4.14% | 1,753 |
| Desamparados, Curridabat – San José | 3.64% | 1,540 |
| Cartago – San José | 3.27% | 1,386 |
| San Pedro, Zapote – San José | 3.20% | 1,353 |
| Santa Ana, Escazú – San José | 2.20% | 930 |
| Guadalupe – San José | 2.14% | 908 |
| San José - Heredia | 1.48% | 627 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

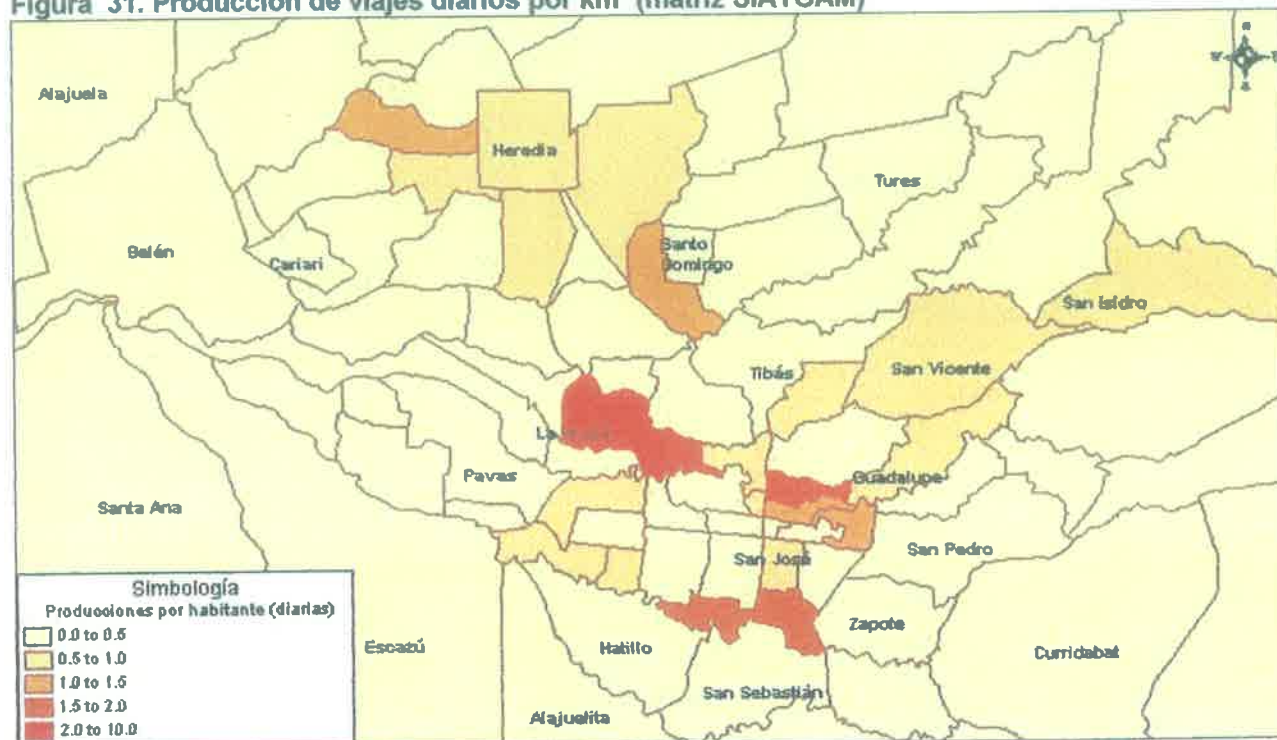
En cuanto a las producciones, las áreas que más viajes generan son La Uruca, el área cercana a Calle Blancos, el área sur del centro de San José y el área alrededor del Parque La Sábana. Se producen viajes de manera importante en áreas cercanas al centro de Heredia, y en el área de Moravia, San Vicente y Guadalupe, que son primordialmente áreas residenciales.

Figura 30. Atracción de viajes diarios por habitante (matriz SIATGAM)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

Figura 31. Producción de viajes diarios por km² (matriz SIATGAM)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MOPT

7.2 Matriz de demanda de estudios de campo

La matriz de demanda obtenida mediante los estudios de campo fue derivada de la realización de encuestas sobre las posibles rutas entre el área urbana de San José y el área de Heredia.

La matriz utilizada en el estudio incluye los viajes realizados en auto en el período pico comprendido entre las 7:00 AM y las 8:00 AM, conteniendo la matriz los volúmenes de viaje correspondientes a solamente una hora. Los datos de origen – destino, fueron proporcionados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), tanto para el año 1990, como su proyección al 2000.

Se presentan en el siguiente apartado las características específicas de los usuarios del corredor entre Heredia y San José. Las características mostradas son producto del procesamiento de todas las encuestas realizadas sobre la vía, las cuales permiten un mayor nivel de confiabilidad en los resultados de la demanda de este corredor.

7.2.1 Características de los viajes

Los viajes de transporte privado fueron estratificados por motivo de viaje, nivel de ingreso y tipo de vehículo.

Los motivos de viaje que se utilizaron fueron trabajo y otros. La encuesta de origen – destino contiene cinco tipos de motivos de viaje los cuales son:

- Trabajo
- Recreación
- Estudio

- Trámites Personales
- Otros

Las matrices serían generadas para cada motivo listado, sin embargo, después de analizar los porcentajes de participación de cada motivo, se concluyó que el motivo trabajo era el más importante y entre los otros 5 motivos no se encontró algún otro significativo, por lo que se agrupó todos los demás en el motivo "otros". La Figura 32 muestran la participación de viajes por motivo de viaje tanto entre semana como en fin de semana, durante todo el día de encuestas.

El porcentaje de participación por el motivo trabajo es el 73% entre semana y el 36% en fin de semana. En fin de semana, los viajes motivados por trabajo bajan porcentualmente de manera considerable, debido a que el número de personas que trabajan en sábado y domingo es menor que entre semana.

La estratificación por nivel de ingreso fue basada en la información socioeconómica recabada, por lo tanto para las encuestas origen – destino se establecieron cinco diferentes niveles de ingreso. Estos niveles de ingreso fueron determinados con información recabada y con previa autorización de personal del MOPT. Los ingresos son mensuales y en colones. Los cinco rangos establecidos en las encuestas fueron los siguientes (en colones y dólares americanos, con una tasa de cambio actual de 330 colones por US \$):

1. Menos de ₡ 100,000 (US \$303.03)
2. de ₡ 100,000 a ₡ 300,000 (US \$303.03 – 909.09)
3. de ₡ 300,000 a ₡ 500,000 (US \$909.09 – 1,515.15)
4. de ₡ 500,000 a ₡ 700,000 (US \$1,515.15 – 2,121.21)
5. Más de ₡ 700,000 (US \$2,121.21)

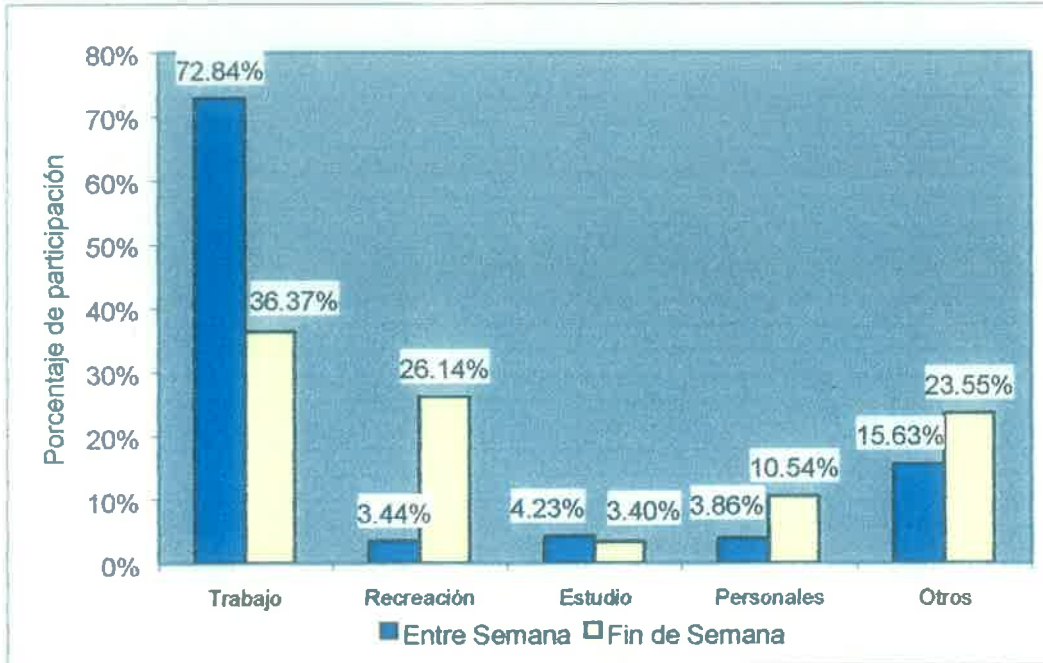
La Figura 33 muestra la distribución de respuestas para los diferentes niveles de ingresos mensuales (en la hora pico), esta tendencia permanece relativamente constante a lo largo del día. Los niveles de ingreso 1, 2 y 3 fueron los más indicados por las respuestas de los automovilistas. Para fines del presente estudio, se agruparon estos cinco niveles a tres, basándose en el sueldo promedio de Costa Rica y Heredia que es de ₡ 111,233 y ₡ 121,764 mensuales respectivamente. Debido a la concentración de respuestas y al ingreso promedio de la zona de influencia, se decidió establecer los siguientes tres niveles de ingreso, agrupando los rangos 3, 4 y 5, que representan un porcentaje bajo de los usuarios del corredor en estudio:

- Nivel Bajo menos de ₡ 100,000
- Nivel Medio de ₡ 100,000 a ₡ 300,000
- Nivel Alto más de ₡ 300,000

Tomando como base esta estratificación, los porcentajes de participación por estrato son los mostrados en la Figura 34 para entre semana y fin de semana.

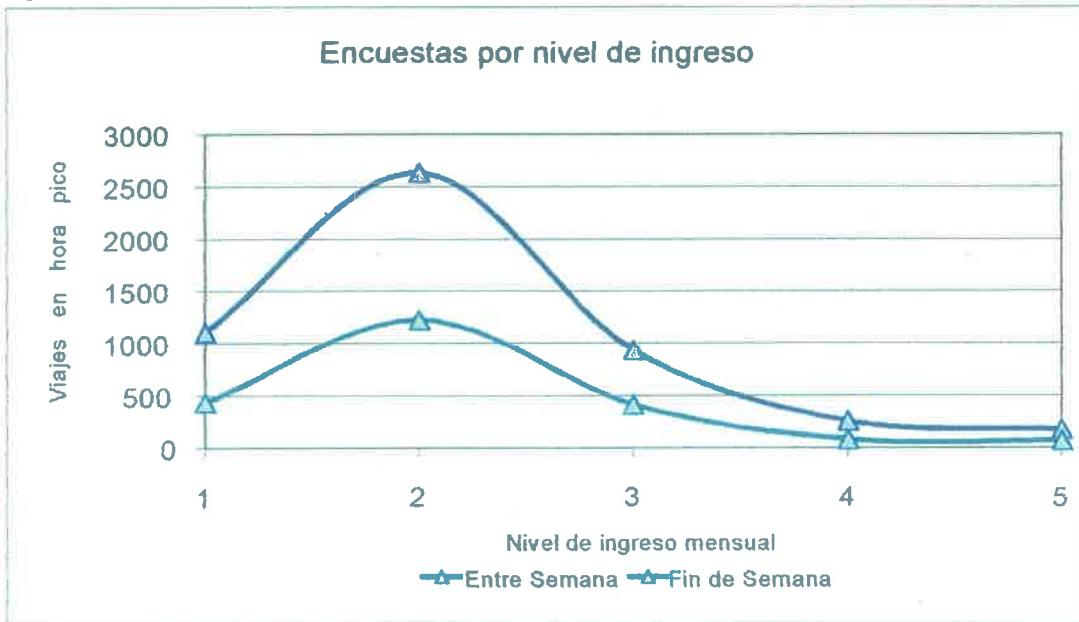
Los viajes en automóvil fueron estratificados tanto por motivo como por nivel de ingreso, mientras que los viajes en vehículos de carga fueron agrupados sólo por tipo de vehículo, pues el motivo del viaje está relacionado con el transporte de la carga. El nivel de ingreso del conductor tampoco es decisivo para la selección de rutas, siendo más relevantes el tipo y el valor de la carga, así como la urgencia de la entrega. La Figura 35 muestra la participación por tipo de vehículo tanto entre semana y en fin de semana.

Figura 32. Participación por motivo en matrices origen – destino ES y FS



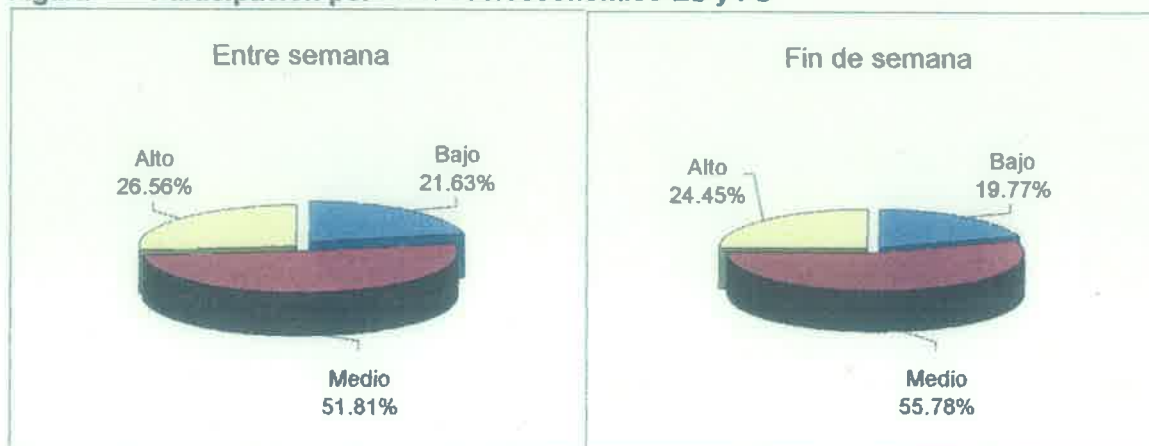
Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Participación por nivel de ingreso ES y FS



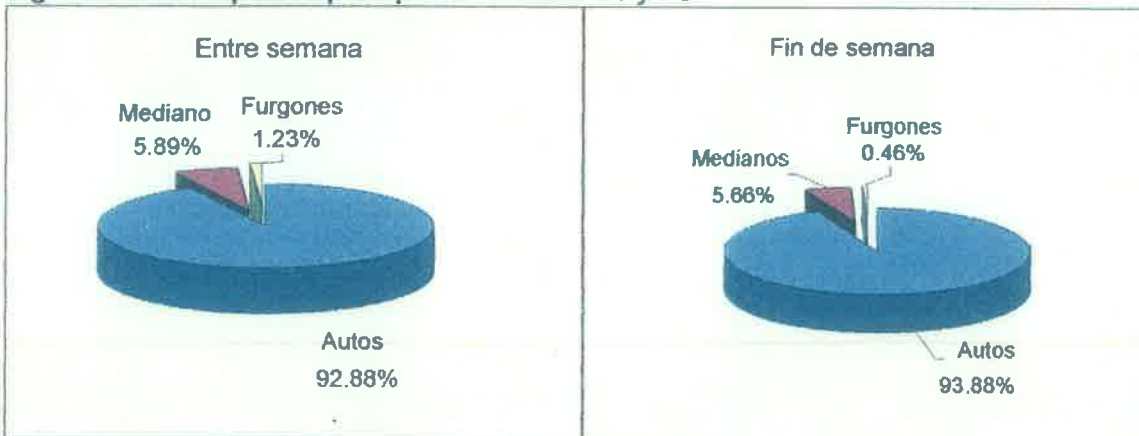
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Participación por nivel socioeconómico ES y FS



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Participación por tipo de vehículo ES y FS



Fuente: Elaboración propia

A partir de las consideraciones comentadas se obtuvieron ocho diferentes matrices, producto de los estudios de campo, que son listadas a continuación:

Tabla 25. Listado de matrices generadas

| Matriz No. | Tipo de vehículo | Motivo | Nivel de Ingreso |
|------------|------------------------|---------|------------------|
| 1 | Privado de pasajeros | Trabajo | Bajo |
| 2 | | | Medio |
| 3 | | | Alto |
| 4 | Privado de pasajeros | Otros | Bajo |
| 5 | | | Medio |
| 6 | | | Alto |
| 7 | Carga de 2 y 3 ejes | | |
| 8 | Carga de más de 4 ejes | | |

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Origen y destino de los viajes

Para determinar los principales pares origen – destino de los viajes que se realizan sobre las rutas encuestadas, se utilizaron los resultados de las encuestas sobre la vía realizadas por el Consorcio.

Las matrices origen – destino expandidas a los totales medios diarios resultan en un total de 5,011 viajes en vehículo privado de pasajeros, 323 viajes en vehículos de carga medianos (2 o 3 ejes), y 67 viajes en vehículos de carga pesados (furgones). Lo anterior en la hora de máxima demanda de la mañana entre semana (7:00 AM a las 8:00 AM). Para el período en fin de semana, se cuenta con un total de 1,187 viajes en automóvil, 132 viajes en vehículos de carga medianos (2 o 3 ejes), y 10 viajes en vehículos de carga pesados (furgones). A continuación, en la Tabla 26 se muestra la clasificación por tipo de vehículos y, para los autos, la estratificación de los viajes por motivo y nivel de ingreso de los usuario

Tabla 26. Cantidad de viajes por hora por matriz

| Estrato | Entre semana | | Fin de semana | |
|---------------|--------------|--------|---------------|--------|
| | Veh / hr | % | Veh / hr | % |
| Trabajo bajo | 807 | 16.10% | 224 | 10.28% |
| Trabajo medio | 2104 | 41.99% | 722 | 33.12% |
| Trabajo alto | 1090 | 21.75% | 241 | 11.06% |
| Otros bajo | 277 | 5.53% | 207 | 9.50% |
| Otros medio | 492 | 9.82% | 494 | 22.66% |
| Otros alto | 241 | 4.81% | 292 | 13.39% |
| | | | | |
| Autos | 5011 | 92.78% | 2180 | 93.88% |
| Livianos | 323 | 5.98% | 132 | 5.68% |
| Furgones | 67 | 1.24% | 10 | 0.43% |
| Total | 5401 | | 2322 | |

Fuente: Elaboración propia

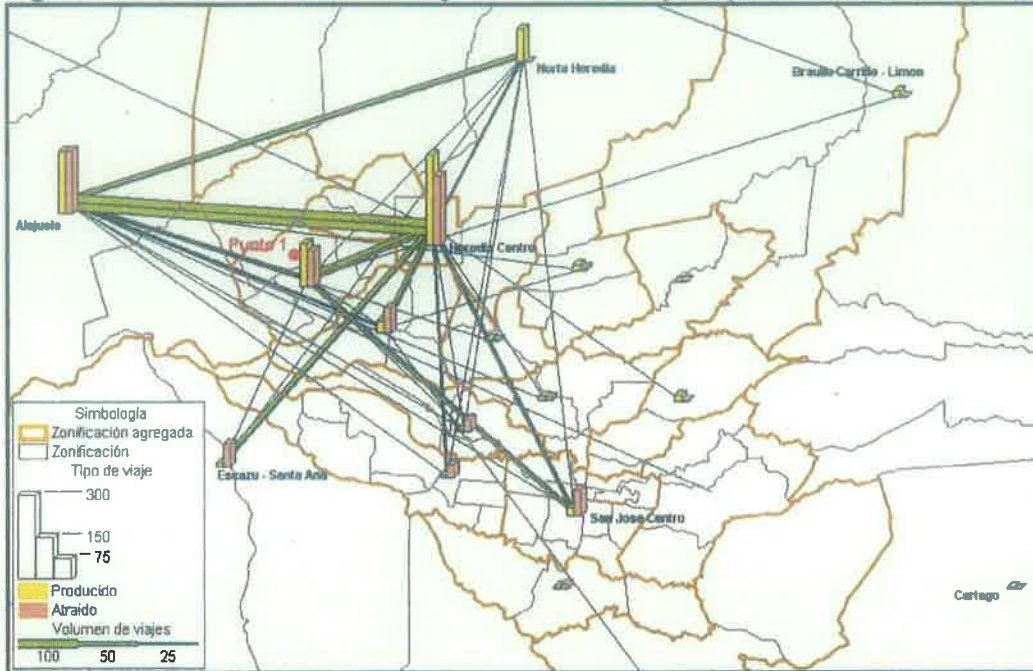
7.2.2.1 Viajes en automóvil

Los seis puntos de encuesta mostraron los diferentes patrones de viajes en automóvil dentro de la zona de influencia. Las siguientes figuras demuestran las líneas de deseo por punto de encuesta para viajes en automóvil.

Punto 1. La Aurora

Los viajes captados en esta estación indican que el principal par origen – destino de los conductores que circulan por esta vía es entre Alajuela y Heredia, como lo muestra la figura. Es también este punto donde más viajes se captaron hacia el área de Escazú y Santa Ana, provenientes de Heredia. (ver Figura 36).

Figura 36. Líneas de deseo de viajes en automóvil para punto 1



Fuente: Elaboración propia

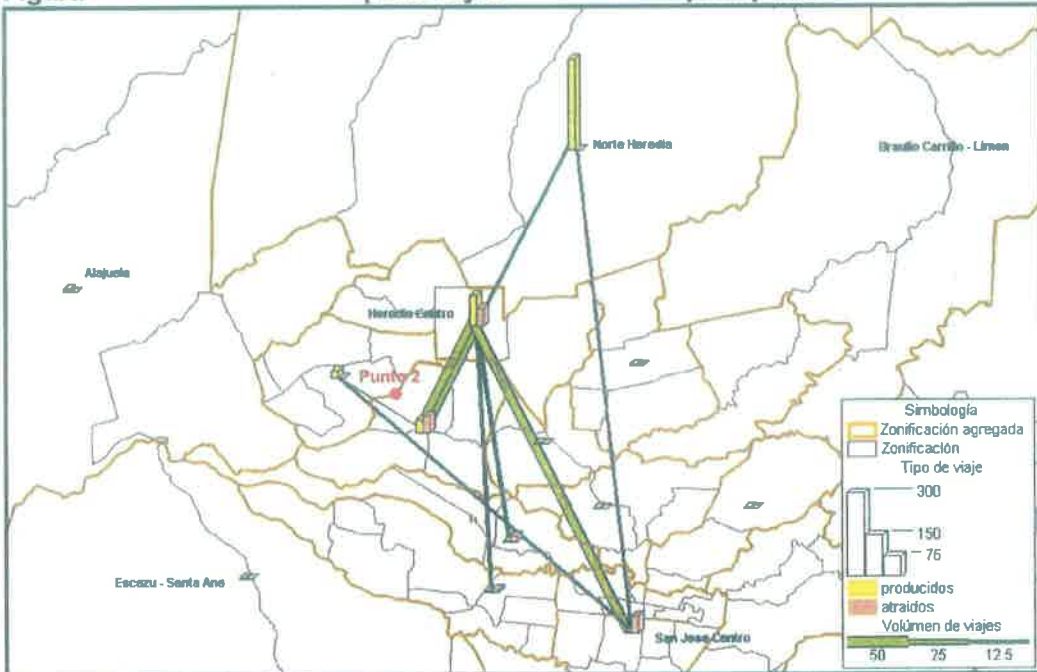
Punto 2. El Barreal

El punto localizado en la Carpintera fue en el que menos vehículos transitaron en el día de encuesta. Los viajes estuvieron concentrados principalmente a dos pares origen – destino: Heredia - El Barreal y Heredia - San José. (ver Figura 37).

Punto 3. Lagos

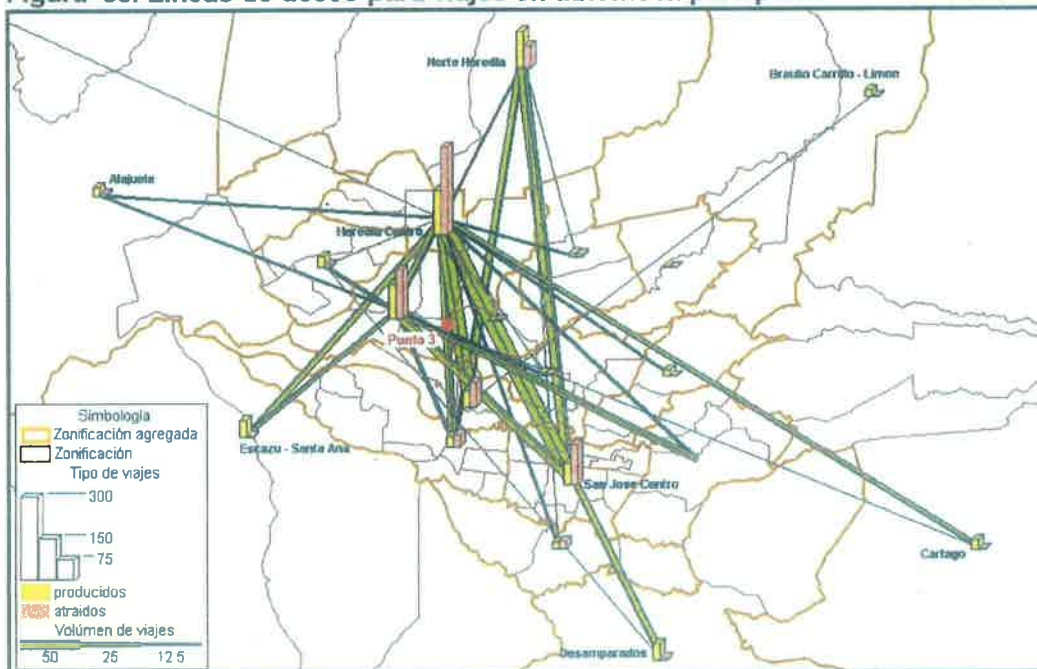
En el punto ubicado en Lagos, sobre la Ruta 3, se captó una cantidad importante de viajes potenciales para la Radial Heredia – San José. Los principales pares origen – destino se ubican entre Heredia y ciudades ubicadas al norte de este Cantón (Barva, Santa Bárbara y San Rafael) a La Uruca o San José. En la Figura 38 se observa que en el período pico de la mañana, el Centro de Heredia tiene más atracciones que producciones lo que evidencia la importancia de este punto como centro atractor de viajes. Este comportamiento, sin embargo, no coincide con el total del corredor, que tiene tránsito más intenso en el sentido hacia San José; pues se suman los viajes producidos al Norte de Heredia.

Figura 37. Líneas de deseo para viajes en automóvil para punto 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Líneas de deseo para viajes en automóvil para punto 3



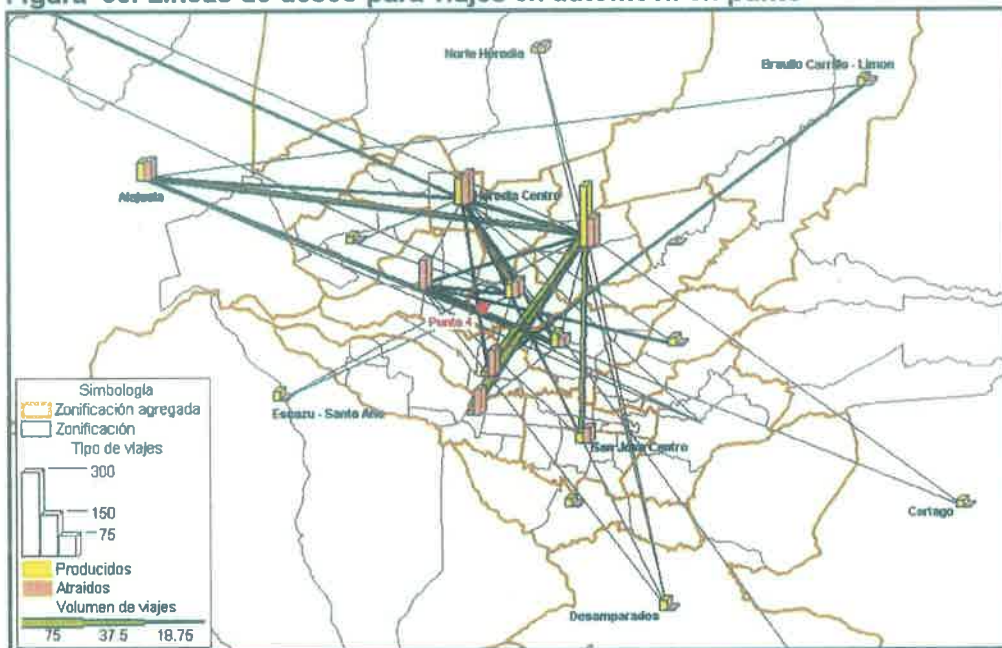
Fuente: Elaboración propia

Punto 4. La Valencia.

El tráfico que transitó por el punto 4 tiene dirección este – oeste. Fue necesario realizar encuestas en este punto para poder captar los viajes que provienen de Santo Domingo que no utilizan la Ruta

5, que pasa por Tibás para dirigirse hacia San José, los cuales son viajes potenciales para la Radial Heredia – San José. Los principales pares origen – destino captados en este punto fueron entre Santo Domingo y las zonas de Pavas, La Uruca, San José y Alajuela. (ver Figura 39).

Figura 39. Líneas de deseo para viajes en automóvil en punto 4

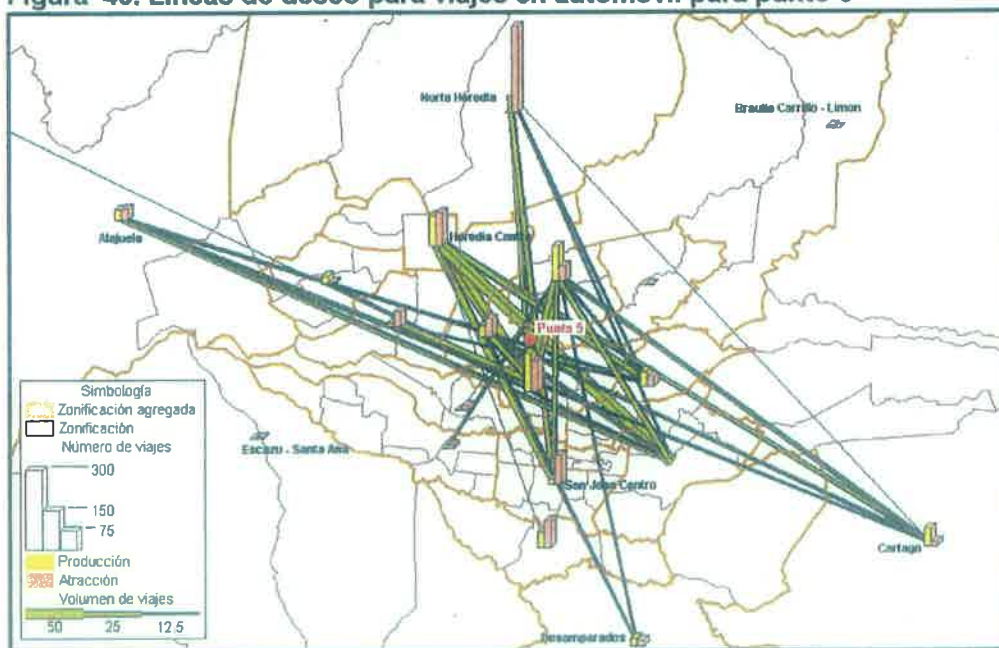


Fuente: Elaboración propia

Punto 5. Santo Domingo.

El punto 5, ubicado a la salida de Santo Domingo hacia Tibás es donde mayor cantidad de viajes se captaron. Los principales pares origen – destino se presentan entre Heredia y San José, San Pedro, Tibás y Guadalupe. (ver Figura 40).

Figura 40. Líneas de deseo para viajes en automóvil para punto 5

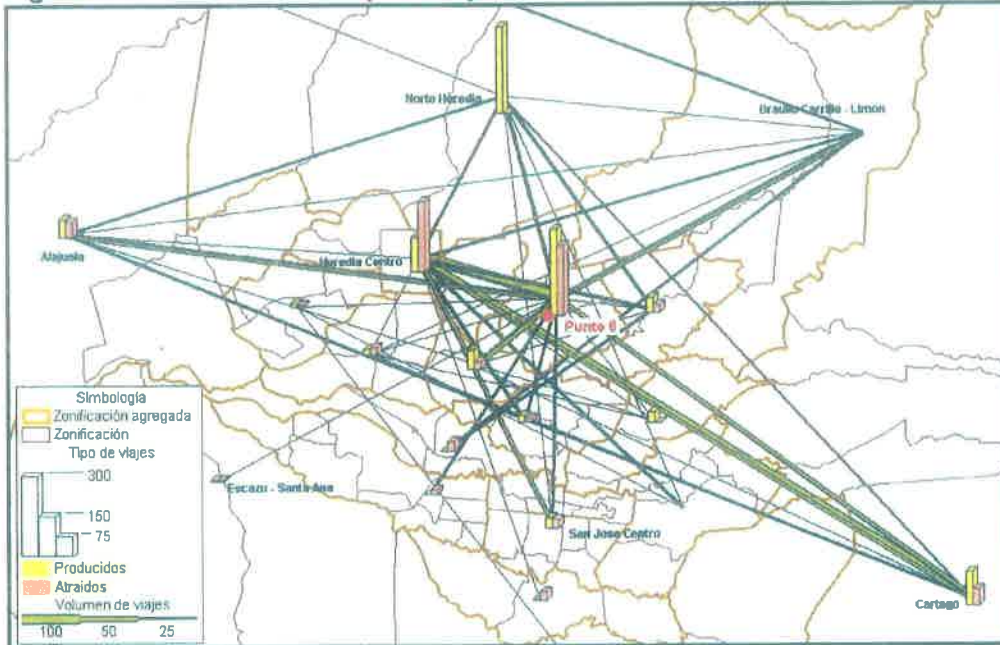


Fuente: Elaboración propia

Punto 6. Santo Tomás.

El punto 6, ubicado en la salida de Santo Domingo hacia Santo Tomás, captó la mayor cantidad de viajes hacia el este del Valle Central. Los principales pares origen – destino son Heredia – Santo Domingo, Heredia – Cartago, y Santo Domingo – La Valencia. Este punto tiene también dirección del tránsito este – oeste en el periodo pico de la mañana. Es el punto donde se presentaron mayor cantidad de viajes que utilizan la vía hacia Limón (ver Figura 41).

Figura 41. Líneas de deseo para viajes en automóvil para punto 6



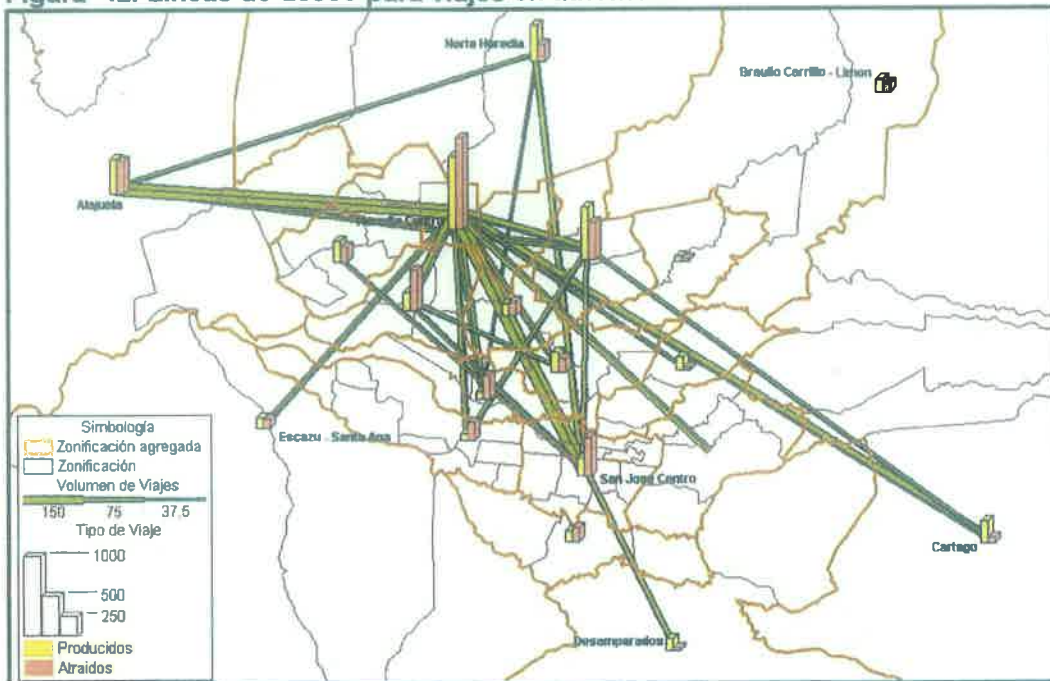
Fuente: Elaboración propia.

Aunado a las figuras antes mostradas, se generaron líneas de deseo para la totalidad de los viajes tanto en automóviles como en vehículos de carga. Las líneas de deseo mostradas son para viajes generados en la hora de máxima demanda por la mañana (07:00-08:00 AM), para los días de entre semana (ver Figura 42).

Las líneas de deseo totales indican que la parte central de Heredia no es sólo un fuerte generador de viajes hacia el cantón Central de San José, sino también atractor de viajes desde el norte de la provincia de Heredia y viajes provenientes de Alajuela. En su totalidad, la matriz de origen – destino generada, indica los siguientes principales pares origen – destino:

1. Heredia – San José
2. Heredia – Alajuela
3. Heredia – Santo Domingo
4. Heredia – El Barreal
5. San José – Norte de Heredia

Figura 42. Líneas de deseo para viajes en automóvil

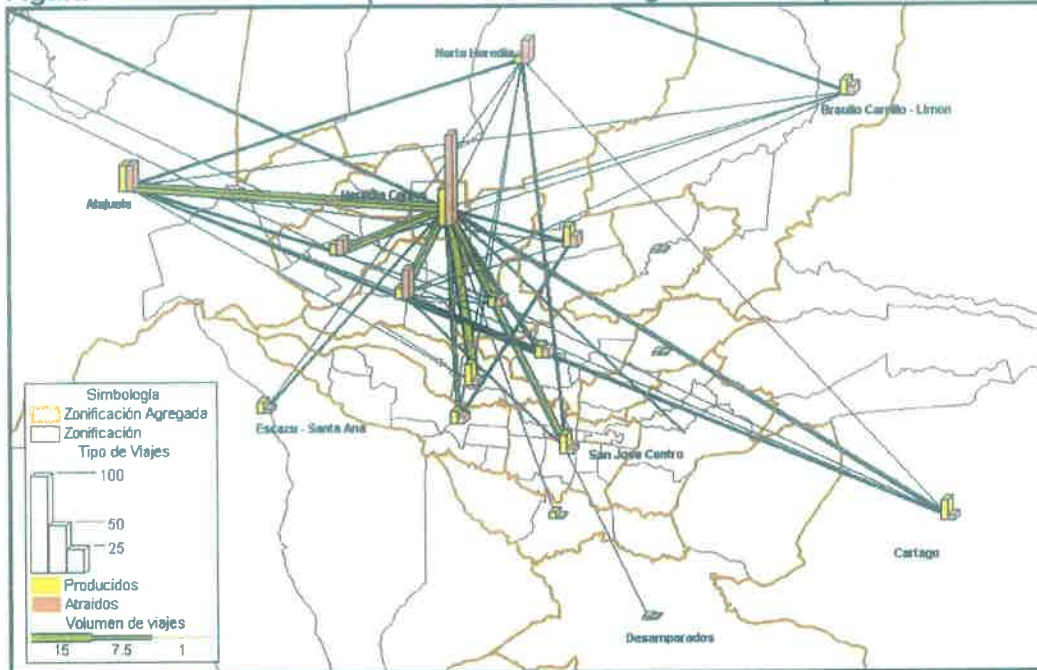


Fuente: Elaboración propia

7.2.2.2 Viajes en vehículos de carga

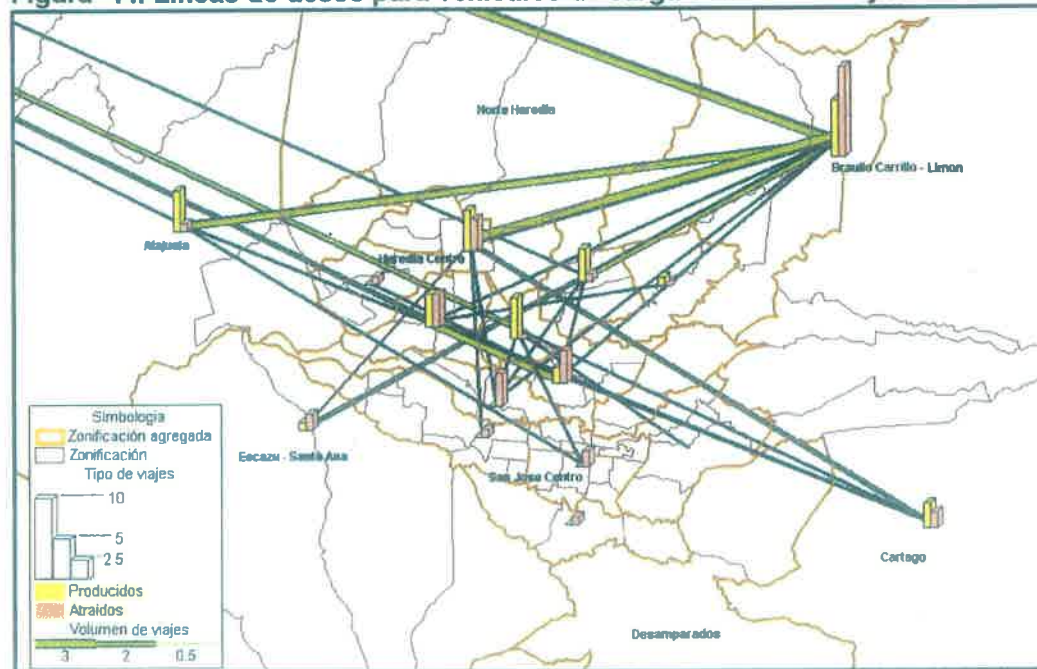
Los principales pares origen – destino, para vehículos de carga medianos, captados fueron Heredia – Alajuela, Heredia – El Barreal, Heredia – La Uruca y Heredia – San José (ver Figura 43). Los viajes captados en vehículos de carga con más de cuatro ejes fueron menores que los de camiones de dos o tres ejes. Los principales pares origen – destino captados son: Heredia – Limón, El Barreal – Tibás, Limón – Puntarenas y Alajuela – Limón. En ambas matrices se presentaron más viajes hacia Limón, principalmente motivados por la cantidad de viajes que terminan en el puerto. (ver Figura 44).

Figura 43. Líneas de deseo para vehículos de carga con 2 o 3 ejes



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Líneas de deseo para vehículos de carga con 4 o más ejes



Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Frecuencia de viaje

La frecuencia de los viajes fue obtenida mediante las encuestas origen – destino y de preferencia declarada. La distribución de las frecuencias de viajes indican que la tercera parte de los viajes observados viajan de una o dos veces al día, tanto entre semana como en fin de semana. La Tabla 27 muestra un resumen de las frecuencias observadas.

Tabla 27. Frecuencia de viajes

| Entre Semana | | Porcentaje | | Fin de Semana | | Porcentaje |
|-------------------|-------|------------|--|-------------------|-------|------------|
| Veces al día | 1 - 2 | 36.94% | | Veces al día | 1 - 2 | 29.98% |
| | 3 - 4 | 9.91% | | | 3 - 4 | 7.75% |
| | 5 - 6 | 4.70% | | | 5 - 6 | 3.79% |
| | 7 - 8 | 3.38% | | | 7 - 8 | 2.02% |
| Veces a la semana | 1 - 2 | 13.10% | | Veces a la semana | 1 - 2 | 21.28% |
| | 3 - 4 | 11.19% | | | 3 - 4 | 10.69% |
| | 5 - 6 | 7.16% | | | 5 - 6 | 5.29% |
| Veces al mes | 1 - 2 | 5.87% | | Veces al mes | 1 - 2 | 9.39% |
| | 3 - 4 | 1.48% | | | 3 - 4 | 2.24% |
| Veces al año | 1 - 2 | 1.35% | | Veces al año | 1 - 2 | 2.47% |
| Otras | | 4.92% | | Otras | | 5.10% |

Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Ocupación de los automóviles

El promedio de ocupación de los viajes observados en los puntos de encuesta entre semana es de 1.74 pasajeros por vehículo durante todo el día y 1.62 pasajeros por vehículo en el período pico de la mañana. En cambio, en fin de semana, la ocupación es 2.24 pasajeros por vehículo durante todo el día y 1.93 pasajeros por vehículo durante el período pico de la mañana. La ocupación en fin de semana es consistente con los motivos de viaje, ya que el trabajo disminuye y se incrementa el motivo de viaje otros, especialmente los relacionados con la recreación.

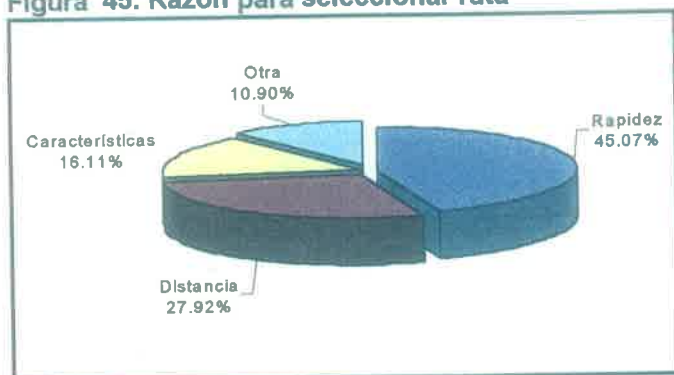
7.2.5 Elección de ruta

La elección de ruta fue obtenida de las encuestas origen – destino, la cual ofrecía cuatro diferentes opciones sobre el porqué el usuario escogió esa ruta en específico:

- por tiempo
- por distancia
- por características de la vía
- otras razones

La razón más importante, según resultado de la encuesta se puede observar en la Figura 45, en la cual se observan los porcentajes por opción.

Figura 45. Razón para seleccionar ruta



Fuente: Elaboración propia

De los seis puntos de encuesta, el punto 2 ubicado en La Carpintera y que cuya ruta hacia San José pasa por el Barreal de Heredia, es la ruta que más porcentaje obtuvo en la elección por "rapidez" con un 66%, tanto entre semana como en fin de semana.

En el punto 5 ubicada en la ruta entre Santo Domingo de Heredia y Tibás, punto ubicado frente al Cementerio de Santo Domingo de Heredia, fue donde mayor porcentaje de respuestas indicaron la elección de ruta por "distancia".

En cuanto a las "características de la vía", la ruta del punto 1 que está localizado en La Aurora, tiene aproximadamente el 30%.

7.2.6 Propiedad del vehículo

Los vehículos encuestados han sido clasificados también por quién es su propietario. Los automóviles son principalmente propiedad del conductor con un 85% para los automóviles encuestados entre semana y con un 93% en fin de semana. En cambio, el porcentaje de los vehículos de carga encuestados que son propiedad de una empresa para los viajes entre semana contabilizan un 70% y en fin de semana, un 60%. La Tabla 28 muestra los porcentajes por tipo de vehículo.

Tabla 28. Propiedad del vehículo

| Tipo de Vehículo | Entre Semana | | Fin de Semana | |
|------------------|--------------|-----------|---------------|-----------|
| | % Propio | % Empresa | % Propio | % Empresa |
| Automóviles | 85.40 % | 14.60 % | 93.50 % | 6.50 % |
| Carga Medianos | 28.89 % | 71.11 % | 43.71 % | 56.29 % |
| Carga Furgones | 26.40 % | 73.60 % | 39.84 % | 60.16 % |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la carga de los vehículos, es predominantemente de producción y consumo nacional. De todos los camiones de carga, el 87.7% de la carga transportada sobre los mismos, es de producción y consumo nacional, así 12.3% es de exportación.

El principal producto que es transportado en el área de influencia es de origen industrial con un 60% entre semana y un 70% en fin de semana. El siguiente producto más importante es el agrícola.

La Tabla 29 muestra el número de viajes observados en los periodos de entre semana y en fin de semana por producto. Se indica también su porcentaje de participación.

Tabla 29. Tipo de carga por grandes grupos (viajes / hora)

| Tipo de Carga | Entre Semana | Fin de Semana | Entre Semana | Fin de Semana |
|--------------------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| | Viajes diarios | Viajes diarios | (%) | (%) |
| Productos industriales | 578 | 263 | 60.60% | 71.27% |
| Productos Agrícolas | 97 | 86 | 19.82% | 11.96% |
| Animales y sus derivados | 40 | 29 | 6.68% | 4.93% |
| Productos forestales | 19 | 20 | 4.61% | 2.34% |
| Productos Inorgánicos | 40 | 19 | 4.38% | 4.93% |
| Petróleo y sus derivados | 29 | 14 | 3.23% | 3.58% |
| Productos minerales | 5 | 3 | 0.69% | 0.62% |
| Otros | 3 | 0 | 0.00% | 0.37% |

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 30 especifica los viajes de los productos más transportados por el área de influencia, en el período entre semana y fin de semana.

Tabla 30. Tipo de carga por producto específico (viajes / hora)

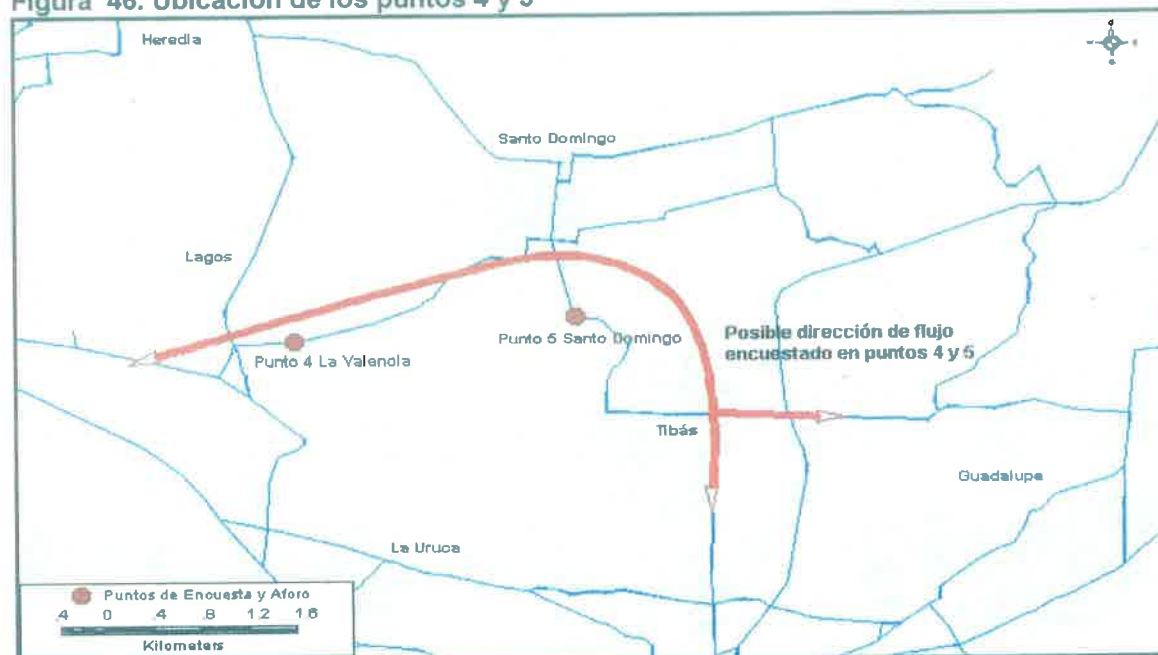
| Tipo de Carga (producto específico) | Entre Semana | Fin de Semana |
|--|----------------|----------------|
| | Viajes diarios | Viajes diarios |
| Material para construcción | 32 | 71 |
| Pan | 22 | 18 |
| Abarrotes | 17 | 20 |
| Legumbres y verduras frescas | 14 | 0 |
| Arena y Grava | 13 | 29 |
| Melones | 0 | 27 |
| Lácteos | 11 | 18 |
| Domésticos productos no especificados | 0 | 29 |
| Concreto | 0 | 19 |
| Ropa | 0 | 19 |

Fuente: Elaboración propia

7.2.7 Eliminación de dobles conteos

Observaciones en los puntos de encuesta, indicaron que algunos conductores fueron encuestados tanto en el punto 4 (La Valencia) como en el punto 5 (Santo Domingo). Debido a esta situación, se aplicó una metodología para evitar doble conteo de viajes en estos puntos. Las matrices de ambos puntos fueron comparadas entre sí manteniendo el par con el mayor número de viajes. Así, se obtuvo sólo una matriz para ambos puntos. En la Figura 46 se muestra la ubicación de los puntos 4 y 5 y la posible dirección de los viajes captados en ambos puntos.

Figura 46. Ubicación de los puntos 4 y 5



Fuente: Elaboración propia

7.2.8 Matrices de viaje del GAM

Para este estudio, se utilizaron tanto las matrices generadas por el SIATGAM como las generadas por el Consorcio mediante los estudios de campo. Es importante representar los viajes sobre todo el GAM, para que se pueda verificar el efecto de la congestión y el cambio en la forma de realizar los viajes con la operación de la Radial. El inicio de operaciones de la Radial reducirá el congestionamiento actual de las vías debido a la poca infraestructura que da acceso a dicha zona con San José.

La matriz del SIATGAM fue utilizada principalmente para poder modelar la congestión existente en el sistema. La matriz del SIATGAM fue utilizada también para poder estimar preliminarmente el flujo que captaría el tramo norte de Circunvalación, debido a que la ubicación de los puntos de encuesta sólo permite captar el flujo potencial para la Radial Heredia – San José y no para Circunvalación.

Se consideró a la matriz originada por los estudios de campo con un mayor grado de confiabilidad que la matriz obtenida del SIATGAM, debido a que se obtuvo de encuestas realizadas sobre la misma vía a los usuarios potenciales de la Radial Heredia – San José, y sobre las vías que actualmente conectan a Heredia y San José. También se considera a la matriz obtenida de los estudios de campo con un mayor nivel de confiabilidad debido a la actualidad de la misma en comparación con lo disponible del SIATGAM.

La metodología empleada para utilizarlas fue la siguiente: primero, se verificó que ambas matrices coincidieran en estratificación de motivos de viaje. De acuerdo con lo anterior la matriz del SIATGAM fue agregada para los motivos estudio y otros, con esto se hizo coincidir con la estratificación de la matriz generada para este estudio. Aún así, la matriz del SIATGAM no pudo ser estratificada por nivel socioeconómico por falta de información.

Para poder utilizar ambas matrices, se debieron realizar procedimientos por los cuales se evitara sobreestimar viajes en el corredor Heredia – San José que son representados por ambas matrices.

Se estableció una "línea pantalla" que dividiera los orígenes y destinos como aquellos viajes que se dirigen al norte y aquellos que se dirigen al sur. La ubicación de los puntos de encuesta permitió ubicar esta línea que coincide con la división formada por el Río Virilla. Se consideró que las encuestas origen – destino captaron todos estos viajes, que cruzan dicha línea, y que tienen un mayor grado de confiabilidad que la información anterior. Así, se le da prioridad a la matriz obtenida por medio de las encuestas y por lo tanto descartando la información de los pares origen – destino que cruzan dicha línea. Para el resto de las celdas, se tomó el valor máximo de entre las dos matrices utilizadas.

8 DESARROLLO DE MODELOS

8.1 Etapas del Modelo de transporte

El proceso de planeación de transportes es un conjunto de actividades interconectadas que tienen por objetivo perfeccionar la calidad de vida de los ciudadanos, particularmente en los aspectos relacionados a la movilidad de las personas o bienes.

A lo largo de los últimos años, se ha desarrollado una metodología para realizar la modelación de la demanda de transporte, así como de la oferta. El proceso de modelación abarca cuatro etapas diferentes:

- Generación de viajes o de la demanda
- Distribución de viajes de la demanda
- División o elección modal
- Asignación a las redes de transporte

Las dos primeras etapas tienen como objetivo la simulación del comportamiento de la demanda del transporte y de la distribución espacial de los viajes. Esto se inicia a partir de la información socioeconómica de la población del área de estudio, además de los datos sobre las características de la región y de los viajes. Como resultado de estas dos primeras etapas, se obtienen matrices de demanda de transporte, desagregadas por tipo de flujo.

En la etapa de selección de rutas, se estima la probabilidad de utilizar o no las rutas que incluyen el pago de un peaje para cada estrato de la demanda potencial de la nueva vía. Así, se obtienen porcentajes de captación que varían conforme al nivel tarifario.

En la etapa de asignación de viajes, se realiza la interacción entre la oferta, representada a través de las redes de transporte, y la demanda, representada por las matrices de viaje.

8.2 Generación

El análisis de la generación de la demanda o de los viajes, es de fundamental importancia, una vez que en esta etapa se define la demanda global que será atendida en los diferentes horizontes de estudio. El objetivo de tales modelos es permitir una estimación para cada año horizonte considerado, de las demandas totales producidas y atraídas por cada zona de tránsito del área de estudio y su entorno, en un determinado periodo de tiempo.

Los modelos de generación relacionan las variables que describen a la población o la actividad económica de cada zona y las que caracterizan su patrón de uso y ocupación del suelo, con el potencial de la zona como unidad productora de viajes (modelos de producción) y consumidora / atractiva (modelos de atracción) de viajes.

Puesto que la demanda de transporte se deriva de la demanda de otras actividades, los modelos de generación de viajes se desarrollaron para cada tipo de flujo (trabajo y otros) y para cada estrato de ingresos (bajo, medio y alto).

La estimación de la generación de la demanda envuelve dos términos: la producción, que consiste en la demanda originada o producida en cada zona de tránsito y la atracción, que consiste en la demanda destinada o consumida en cada zona. A continuación se describe el proceso que se llevó a cabo para determinar los modelos de generación de viajes y la manera en que se obtuvieron las producciones.

Para definir las variables que se emplearían en los modelos de generación de viajes, se siguieron los siguientes criterios:

- a. Que el pronóstico existente de la variable se encuentre a nivel de desagregación compatible con la zonificación utilizada
- b. Que exista una serie histórica, que permita estimar el comportamiento futuro de estas variables.

Partiendo de las premisas anteriores se encontró que las variables que se pueden utilizar para la calibración de los modelos son:

- a. Población total
- b. Población económicamente activa
- c. Personal ocupado
- d. Registro vehicular

Las producciones y atracciones para los distintos tipos de flujos fueron determinadas a partir de las encuestas de origen – destino que se aplicaron. El pronóstico fue basado en la proyección de diferentes variables socioeconómicas investigadas y las cuales se relacionan con el crecimiento de los viajes en el área de estudio. Se tomaron en cuenta también los planes reguladores o de desarrollo tanto de la ciudad como industriales, para poder identificar diferentes áreas de crecimiento.

El pronóstico se basó en la tasa de crecimiento de población y la tasa de crecimiento del producto interno bruto per cápita, el cual como se mencionó en el Capítulo 5, está altamente correlacionado con el crecimiento del registro de vehículos, y por lo tanto con el total de viajes generados.

8.3 Distribución de la demanda

La distribución de la demanda tiene como objetivo dar una estimativa de los intercambios de viajes entre las zonas de tránsito en la área de estudio y en su entorno.

Los modelos utilizados en esta etapa utilizan las estimaciones de atracciones y producciones por cada una de las zonas de tránsito e información sobre la estructura de la distribución de la demanda. El resultado de la aplicación de este tipo de modelo es una matriz de demanda, donde cada celda contiene una medida de la intensidad del intercambio entre un determinado par de zonas.

La idea básica en el procedimiento empleado es que la demanda producida en cada zona sea distribuida entre las zonas de atracción.

Existen dos clases más utilizadas de modelos de distribución, diferenciados en función del tipo de información sobre la estructura de la interacción entre las zonas: modelos de factor de crecimiento y modelos gravitacionales. Para el caso particular de este proyecto el método a utilizar es el de factores de crecimiento.

Los modelos de factor de crecimiento usan una matriz actual como base para poder realizar la proyección de la distribución de la demanda. Esta matriz es modificada y proyectada, utilizando factores de crecimiento basados en la evolución estimada de las producciones y atracciones en cada zona, de la situación base para el año horizonte.

8.4 Selección de ruta

La selección de ruta es el proceso en el cual se analizan las posibles alternativas de viaje, valorando tiempo y costo, y a través de funciones de comportamiento que permiten estimar los porcentajes de viaje que se asignan a cada ruta.

8.4.1 Análisis de las encuestas de preferencia

En la etapa de selección de ruta fueron utilizados modelos de comportamiento a nivel desagregado, utilizando el modelo LOGIT. Los datos fueron obtenidos a través de la Técnica de Preferencia Declarada.

Las Técnicas de Preferencia Declarada consisten básicamente en ofrecer a los encuestados alternativas que permitan explorar sus opciones frente a escenarios distintos propuestos por los analistas.

En resumen las principales características de las encuestas de Preferencia declarada son:

- Incluye cualquier encuesta que trate de expectativas y no del comportamiento adoptado en el pasado o presente.
- Es una encuesta de opinión que utiliza técnicas de simulación de juegos
- Enfoque de presupuesto restringido (como se comportarían con presupuesto limitado)
- Experimento de alternativas

En función de los objetivos del estudio, fueron utilizadas tarjetas en cada una de las cuales se presentaba a los encuestadores dos situaciones distintas, para que seleccionaran aquella que tomarían.

Usualmente la selección de ruta se realiza a través de análisis agregado y previsión de viajes a partir de lo que fue observado en el pasado. Una consideración en este sentido, es que en la forma tradicional no se toma en cuenta los posibles efectos en un cambio en los niveles socioeconómicos. Otro aspecto es que difícilmente son sensibles a cambios en el comportamiento de los usuarios, en consecuencia a cambios en los atributos del viaje. Indudablemente lo anterior, es un objetivo muy importante en cualquier estudio de Planeación de Transporte

8.4.1.1 Definición

Para el caso del cobro de algún peaje es imprescindible, si se pretende concesionar la obra, el valor del tiempo de los usuarios del sistema de transporte. Esta consideración es importante porque existe un mercado de viajes entre San José y Heredia que tienen diversas alternativas para realizar sus caminos y que toman en cuenta el valor del tiempo como parámetro de decisión, obedeciendo a sus características socioeconómicas.

El valor del tiempo es un parámetro de fundamental importancia para estimar la disposición de los usuarios a pagar una tarifa a cambio de ahorros en tiempo, ofrecer mayor seguridad y confort. El comportamiento de los usuarios será analizado de acuerdo a cada modo de transporte: automóviles privados y camiones de carga.

8.4.1.2 Diseño

Para realizar las estimaciones, los modelos de selección de alternativas utilizan información sobre la distribución de la demanda y las características de la demanda y de la oferta de transporte.

La elección del modo de transporte depende de tres conjuntos de características:

- Atributos del movimiento
- Atributos del usuario
- Atributos del sistema de transporte

Los atributos de movimiento se refieren a las características como: motivo de viaje (trabajo y otros); periodo de realización del viaje; así como destino del viaje.

Entre los atributos de los usuarios, de los considerados para esta etapa de la modelación fueron: nivel de ingreso (bajo, medio y alto);

Finalmente en cuanto a la oferta del transporte disponible se han considerado:

- Costo de viaje
- Tiempo de viaje

La elaboración de la encuesta de preferencia declarada implica una investigación preliminar de los datos socioeconómicos de la región. Los indicadores investigados son: salario mínimo general, tarifas en estaciones de peaje existentes, estratificación de ingresos, índices de motorización, etc.

Aparte de los datos socioeconómicos, se revisaron estudios anteriores que determinaron un valor del tiempo para ese estudio en particular. Principalmente se analizó el estudio para el corredor vial San José – Zapote – Cartago.

Para poder determinar posibles tarifas y ahorros del tiempo, se realizaron recorridos por las rutas existentes entre San José y Heredia. Los recorridos sirven para saber posibles tiempos de recorrido y ahorro de tiempo con la construcción de la nueva vía. Los recorridos son también utilizados para analizar la infraestructura existente y el nivel socioeconómico de los posibles usuarios de las vías.

8.4.1.3 Elaboración de la prueba piloto

Se realizó una prueba piloto para analizar si los valores determinados tanto para ahorros en tiempo como costo son adecuados. El experimento realizado es factorial e incluye tres niveles de tiempo y tres niveles de costo, los cuales son segmentados por tipo de vehículo y punto de encuesta. Se agregó una décima pregunta para analizar la confiabilidad de la respuesta. La décima pregunta repite una de las nueve preguntas, específicamente la de ahorro en tiempo bajo con costo alto.

La elaboración de las alternativas se basó en valores límites, en los cuales se atribúan valores del tiempo según niveles distintos. La idea básica fue trabajar con valores distintos, para que a partir de las distintas hipótesis sobre el valor del tiempo, se obtenga un valor realmente atribuido a los usuarios.

Las respuestas de la prueba piloto fueron calibradas para ver su comportamiento y analizar el valor del tiempo de las encuestas realizadas. Los resultados de calibración de la prueba piloto resultaron favorables, sin embargo, algunos cambios fueron hechos a los valores de ahorro y costos después de analizar las respuestas de los usuarios, realizando también algunas adecuaciones para rutas con características particulares.

Los parámetros de las funciones utilizadas son calibrados a partir de las encuestas de preferencia declarada realizadas en campo. En total se recopilieron 2,814 encuestas de automóviles y 1,023 de vehículos de carga, sumando un total de 3,837 encuestas de preferencia declarada.

El siguiente cuadro indica los resultados de la calibración a partir de las encuestas de preferencia declarada.

Tabla 31. Valores del tiempo

| Motivo | Período | Valor del Tiempo (Colones / minuto) | | | |
|----------|---------|-------------------------------------|--------|---------|---------|
| | | Nivel de Ingreso | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Autos | Todos | | ¢ 4.31 | ¢ 8.62 | ¢ 12.93 |
| | Trabajo | Todo | ¢ 3.91 | ¢ 7.83 | ¢ 11.74 |
| | | AM | ¢ 4.72 | ¢ 9.43 | ¢ 14.15 |
| | | EP | ¢ 3.80 | ¢ 7.60 | ¢ 11.39 |
| | Otros | Todo | ¢ 4.71 | ¢ 9.43 | ¢ 14.14 |
| | | AM | ¢ 3.81 | ¢ 7.61 | ¢ 11.42 |
| EP | | ¢ 4.97 | ¢ 9.94 | ¢ 14.92 | |
| Camiones | Tipo | Todos | | | |
| | | Todos | ¢ 3.42 | | |
| | | Medianos | ¢ 7.80 | | |
| | | Furgones | ¢ 2.76 | | |

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la calibración reflejan la preferencia de automovilistas y conductores de camiones de carga. Los modelos fueron calibrados tanto para todo el día (período = todo), para el período pico de la mañana (período = AM) y para el período valle (período = EP).

8.5 Asignación del tránsito

La asignación del tránsito, es la última etapa del proceso clásico de simulación del sistema de transporte. En esta etapa interactúan la demanda, representada por las matrices de flujos resultantes de la selección de rutas alternativas, y la oferta, descrita por la red de transporte. El objetivo principal de la asignación del tránsito es obtener una estimación del flujo de vehículos, en cada arco de la red de transporte.

En el procedimiento de asignación del tránsito, un prerrequisito es la determinación de los caminos mínimos a través de la red. Tales caminos mínimos, definen los enlaces que recibirán el volumen de tránsito existente entre las zonas. Además de lo anterior, a lo largo del camino mínimo, para cada modo de usuario se determina la desutilidad asociada a cada par de zonas.

En una primera etapa, se realiza la asignación para dos diferentes escenarios de oferta: uno con vía de cuota y otro sin ella. En cada asignación se estiman tiempos y costo de viaje. Después se realiza la selección de ruta y se estiman dos grupos de demanda: los que deciden utilizar alguna vía de peaje y los que siguen utilizando vías libres de peaje. La siguiente etapa es asignar la demanda a las subredes correspondientes.

9 ESTIMACIÓN DE TRÁNSITO DE LA RADIAL HEREDIA

En este capítulo se presentan los resultados de la estimación de la demanda de la Radial Heredia – San José, resultante del proceso de recopilación de información y elaboración de modelos. Como se mencionó en el Capítulo 1, el estudio se realizó en diversas etapas, en las cuales iterativamente se fue ajustando la concepción del proyecto, por lo que se muestran los resultados relacionados con la etapa final del estudio.

Los resultados mostrados aquí se refieren al escenario final recomendado por el Consorcio. Este escenario comprende la construcción inicial de la Radial Heredia, incluyendo Circunvalación desde la Radial Uruca hasta Calle Blancos, y la inclusión de la Prolongación de la Avenida Séptima en el año 2021.

Los modelos desarrollados fueron utilizados para estimar el tráfico sobre la nueva vía considerando diversos escenarios de oferta, con los cuales se estimó la variación del tránsito con relación al peaje cobrado y a los proyectos futuros planeados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

El análisis de sensibilidad de la demanda a la tarifa es la primera etapa que se realizó, con el objetivo de verificar el impacto de la variación de la tarifa en los ingresos de la vía. Como resultado se estimó el nivel tarifario que permite maximizar los ingresos de la vía, y por lo tanto, su factibilidad financiera. Los resultados detallados de demanda, tránsito diario e ingresos son presentados para el escenario correspondiente a la tarifa de peaje que resulta el máximo ingreso.

Después de analizar las diferentes alternativas de trazo, se concluyó que tanto económicamente como técnicamente, la mejor opción corresponde a la alternativa que incluye la construcción de la parte norte de Circunvalación que actualmente no existe y complementado por el trazo básico de la Radial Heredia. Todos los pronósticos presentados se realizan teniendo en cuenta la conclusión de Circunvalación, sin embargo existen algunas reservas con relación a la confiabilidad de los resultados en este caso.

Como resultados principales de la estimación del tránsito se presentan:

- Análisis de sensibilidad a la demanda a la tarifa,
- Demanda estimada por tramo;
- Tránsito diario promedio anual;
- Ingresos brutos;

Es importante que notar que la Avenida de Circunvalación servirá de forma general a dos tipos de flujos :

- El tránsito proveniente de la Radial Heredia, cuya información básica para la estimación de la demanda cuenta con un elevado grado de confiabilidad, pues se origina de los estudios de campo realizados por el Consultor en el ámbito de este trabajo. Los estudios de campo fueron realizados sobre todas las rutas alternas existentes que se utilizan para realizar estos viajes, permitiendo conocer con precisión la demanda entre estos dos cantones.
- El tránsito de viajes de paso y largo itinerario de San José, que se encuentra fuera del corredor Heredia – San José, no fue considerado en la toma de información de este estudio. La información utilizada en este caso corresponde a la información de matriz de viajes del SIATGAM, que fue generada a partir de encuestas realizadas anteriormente y pronosticada por el MOPT al año 2001. La confiabilidad de esta información es bastante inferior comparada con la información recabada por los estudios de campo. Esto se debe a la precisión de los pronósticos y por los grandes cambios experimentados en el área metropolitana en los últimos 10 años.

9.1 Sensibilidad de la demanda

El análisis de sensibilidad de la demanda a la tarifa consiste en realizar diversas corridas del modelo de asignación, considerando escenarios con diversas tarifas de peaje en las vías analizadas. El objetivo es conocer la variación de la demanda y de los ingresos sobre estas vías, para cada valor de peaje contemplado. Este estudio permite estimar el nivel tarifario que resulta mejor captación de ingresos por el concepto de peaje.

Se analizaron siete diferentes escenarios de tarifa de peaje, los cuales han sido listados en la Tabla 32 siguiente, así como su equivalente en dólares americanos. El tipo de cambio utilizado es el de 333 colones por dólar americano.

Tabla 32. Escenarios de peaje analizados (colones)

| Tipo de vehículo | Escenario | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ligero (automóvil) | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| Mediano (carga mediano) | 0 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| Pesado (furgón) | 0 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |

Fuente: Elaboración propia

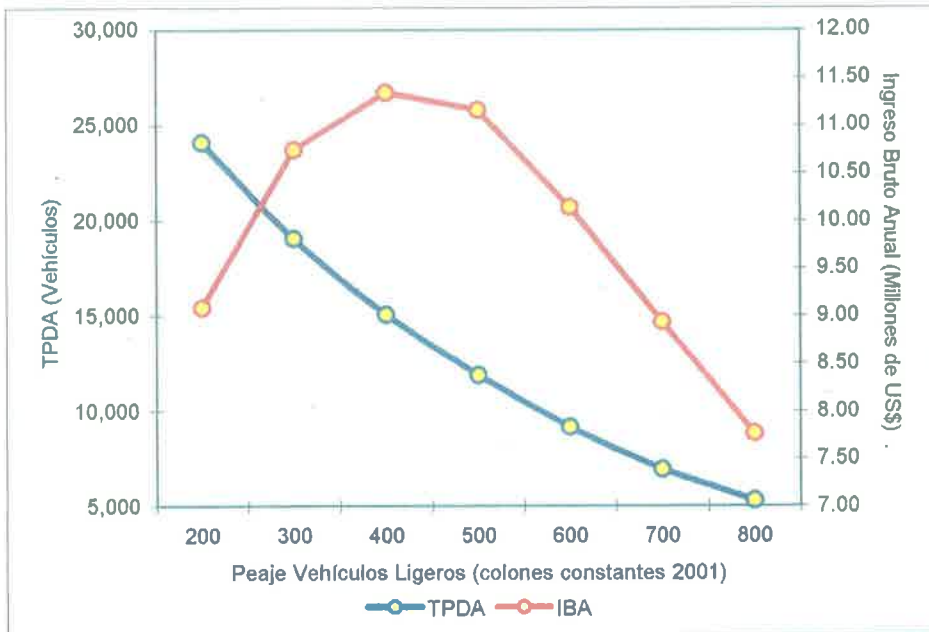
Tabla 33. Escenarios de peaje analizados (US\$)

| Tipo de vehículo | Escenario | | | | | |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ligero (automóvil) | 0.00 | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 |
| Mediano (carga mediano) | 0.00 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 | 1.80 |
| Pesado (furgón) | 0.00 | 0.90 | 1.20 | 1.50 | 1.80 | 2.10 |

Fuente: Elaboración propia

Los datos analizados fueron el tránsito promedio diario anual (TPDA) y los ingresos brutos anuales generados por el cobro de peaje. En la siguiente Figura 47 se muestra gráficamente los resultados del análisis de sensibilidad para vehículos ligeros.

Figura 47. Sensibilidad de la demanda (año base 2001)



IBA = Ingreso bruto anual total
 TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual
 Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa el punto de máximos ingresos, el cual corresponde a 400 colones constantes por vehículo ligero. El mismo análisis se realizó para los años 2011, 2016, 2021 y 2026, para los mismos niveles de tarifa, con el objetivo de obtener el punto de maximización de ingresos. Se puede concluir que el valor de la demanda es decreciente con relación al incremento de la tarifa, sin embargo, el ingreso tiene un comportamiento de tipo parabólico, con un punto de máximo.

También se realizó un análisis de optimización de tarifas por tipo de vehículo y se encontró que la relación que maximiza ingresos es de 1 : 1.66 : 1.33. Las bajas relaciones para las tarifas de peaje se pueden justificar porque los viajes de vehículos medianos o pesados son de recorrido corto, principalmente de entrega de mercancías locales. Observando el sistema de cobro de otros países, se encuentran relaciones tipo 1 : 2 : 3 y la más baja de 1 : 1.8 : 2 en San Luis Potosí, México. Debido a la falta de información de la preferencia de usuarios de vehículos de carga en el corredor de Circunvalación, se recomiendan análisis adicionales para identificar la relación óptima de tarifas por vehículo.

Para los resultados y análisis siguientes, se tomó como base la tarifa óptima encontrada de 400 colones para vehículos ligeros.

9.2 Demanda estimada por tramo

En esta sección se presenta la estimación de la demanda por tramo y sentido, correspondiente para los escenarios de modelación para el periodo pico de la mañana para los años horizonte de proyecto. Los resultados obedecen al análisis realizado con una tarifa de 400 colones para vehículos ligeros, tarifa que permite maximizar ingresos, conforme a la conclusión del análisis de sensibilidad. La Tabla 34 y la Tabla 35 muestran la demanda en la hora pico de la mañana y la demanda por tramo diaria.

Las estimaciones presentadas reflejan las fechas de operación de los proyectos mencionados en el capítulo de oferta. Es importante mencionar que los resultados siguientes no incluyen la operación del Anillo Periférico. Los resultados incluyendo el inicio de operaciones de dicho proyecto son presentados en el siguiente numeral.

Tabla 34. Demanda estimada por tramo por hora pico AM tramo más cargado

| Tramo | Longitud | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|-------------------------------|----------|------|------|-------|-------|-------|
| San Francisco – Lagos | 3.35 | 437 | 560 | 744 | 1,042 | 1,412 |
| Lagos – Santa Rosa | 1.65 | 575 | 724 | 942 | 1,289 | 1,724 |
| Santa Rosa – Circunvalación | 1.90 | 697 | 930 | 1,212 | 1,708 | 2,220 |
| Circunvalación – Ave 7 | 2.67 | 393 | 485 | 810 | 1,081 | 1,397 |
| * Radial Heredia – Uruca | 1.03 | 623 | 780 | 1,100 | 1,601 | 2,055 |
| * Radial Heredia – B Carrillo | 2.50 | 670 | 839 | 1,306 | 1,693 | 2,080 |
| * Circunvalación – C Blancos | 1.52 | 411 | 495 | 676 | 947 | 1,223 |

* Sobre Avenida de Circunvalación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Demanda estimada por tramo diaria ambos sentidos

| Tramo | Longitud | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|-------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| San Francisco – Lagos | 3.35 | 11,970 | 14,701 | 18,996 | 25,893 | 35,269 |
| Lagos – Santa Rosa | 1.65 | 15,408 | 18,734 | 23,864 | 31,917 | 43,154 |
| Santa Rosa – Circunvalación | 1.90 | 18,478 | 23,429 | 29,947 | 40,427 | 52,794 |
| Circunvalación – Ave 7 | 0.67 | 7,469 | 9,170 | 14,977 | 19,903 | 26,323 |
| * Radial Heredia – Uruca | 1.03 | 17,172 | 19,627 | 26,696 | 38,111 | 50,558 |
| * Radial Heredia – B Carrillo | 2.50 | 18,338 | 22,821 | 32,763 | 42,462 | 53,460 |
| * Circunvalación – C Blancos | 1.52 | 12,882 | 15,306 | 19,623 | 27,399 | 35,001 |

* Sobre Avenida de Circunvalación

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que la estimación de la captación de la Avenida de Circunvalación tiene un grado de incertidumbre mayor que el caso de la Radial Heredia, por los motivos anteriormente expuestos.

Un punto importante de incertidumbre en los resultados mostrados en Circunvalación, es la estimación de ingresos por viajes de vehículos de carga. Se presume que los vehículos de carga serían un componente importante de la demanda de Circunvalación, ya que la Radial Uruca cuenta con un porcentaje importante de este tipo de vehículos. Sin embargo, debido a que la matriz proporcionada por el MOPT no cuenta con información de viajes de vehículos de carga, los resultados mostrados aquí no reflejan demanda o ingresos captados por este tipo de usuarios. Además, no se reflejan viajes captados realizados por usuarios con características (preferencias) diferentes a los del corredor entre Heredia y San José. Los viajes de vehículos de carga que se estiman para Circunvalación corresponden solamente a aquellos que utilizarían la Radial Heredia, pues en este caso obtuvo la información de preferencia mediante los estudios de campo.

9.3 Tránsito promedio diario anual

El tránsito promedio anual es una variable representativa del tránsito que recorre toda la longitud de la Radial Heredia – San José. La estimación presentada es obtenida de la demanda estimada por tramo ponderada por la distancia específica del mismo.

Tabla 36. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

| Año | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TPDA | 13,932 | 17,079 | 23,196 | 31,218 | 40,963 |

Fuente: Elaboración propia

9.4 Ingresos brutos

En este apartado se presentan los ingresos brutos correspondientes al cobro de la tarifa a los vehículos que se estima que circularán por las estaciones de peaje propuestas. Para ilustrar la ubicación de las estaciones de peaje, se presenta la Figura 48.

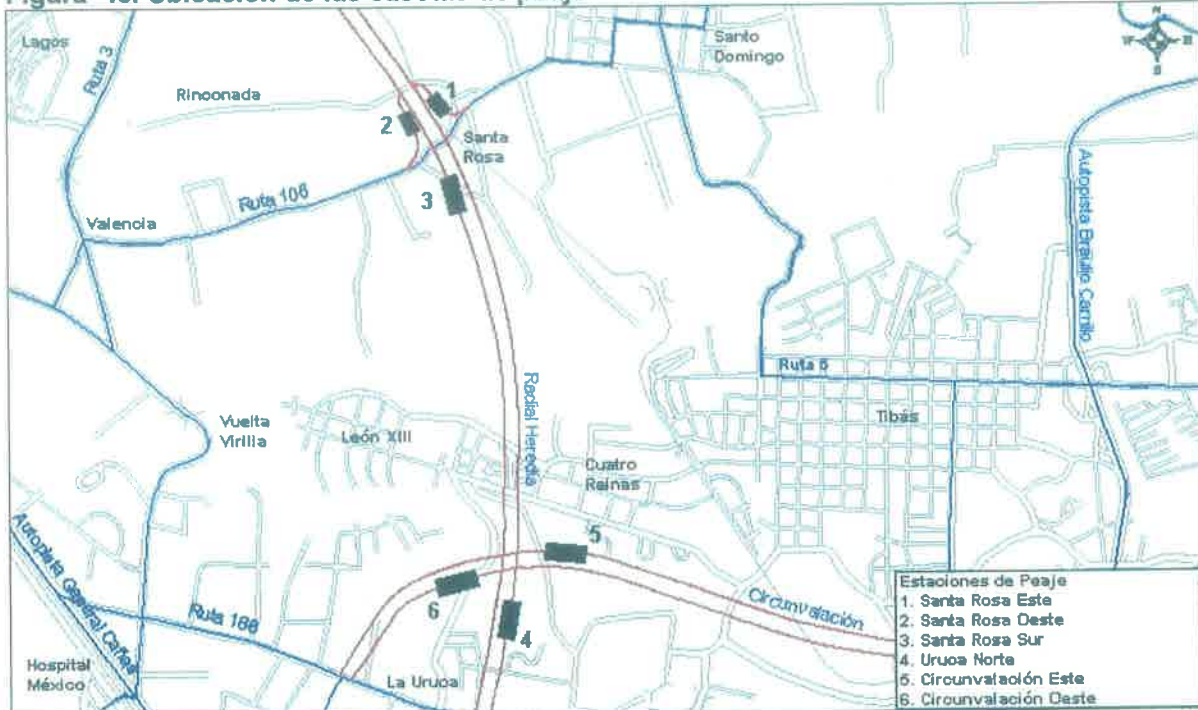
La Tabla 37 contiene la estimación de ingresos brutos generados por la recaudación del cobro de peaje. La estimación presente no toma en cuenta posibles ingresos adicionales de la concesión por explotación de servicios o eventuales desarrollos inmobiliarios, conforme al cartel de concesión del CNC. Es importante recordar el menor grado de confiabilidad de las estaciones ubicadas sobre la Avenida de Circunvalación debido a la fuente de los datos de origen – destino utilizados.

Tabla 37. Ingreso bruto anual en US \$

| Estación de peaje | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Sobre Radial | 4,590,252 | 5,792,068 | 7,852,781 | 10,616,051 | 14,131,393 |
| Sobre Circunvalación | 7,452,881 | 9,194,744 | 12,668,764 | 17,059,377 | 22,341,676 |
| Total | 12,043,133 | 14,986,812 | 20,521,545 | 27,675,428 | 36,473,069 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Ubicación de las casetas de peaje



Fuente: Elaboración propia

9.4.1 Efectos de operación del Anillo Periférico

El inicio de operaciones del proyecto Anillo Periférico, repercute fuertemente en la captación de demanda de la Radial Heredia – San José. La disminución de captación debido a el Anillo Periférico oscila en un 50% para todos los años (ver tablas siguientes). Aún cuando el Anillo Periférico beneficiaría a la movilidad dentro del Gran Área Metropolitana, el concesionario de la Radial Heredia – San José vería afectada su captación de vehículos y, por lo tanto, sus ingresos brutos generados por el cobro de peaje.

Para efectos de modelación, el proyecto Anillo Periférico es incluido a partir del año 2021, año en el cual se estima, económicamente y financieramente, que este proyecto no afectará considerablemente la concesión de la Radial Heredia. Como se puede observar en las tablas mostradas anteriormente, el efecto del Anillo Periférico es importante, y produce disminuciones tanto en demanda como en ingresos percibidos por el peaje.

Es importante mencionar que el escenario base para los análisis de capacidad realizados, es el escenario sin Anillo Periférico, ya que proporciona la situación o escenario crítico para la operación de la Radial Heredia. Sin embargo, para la evaluación económica y financiera, el escenario base incluye el inicio de operaciones en el año mencionado anteriormente, 2021. La inclusión del Anillo Periférico en la evaluación económica y financiera es necesaria debido a que presenta las condiciones menos favorables para el concesionario y por lo tanto, los resultados presentan un escenario crítico.

Tabla 38. Demanda estimada por hora pico AM en ambos sentidos con Anillo Periférico

| Tramo | Longitud | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|-------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| San Francisco – Lagos | 3.35 | 688 | 845 | 1,092 | 772 | 1,106 |
| Lagos – Santa Rosa | 1.65 | 886 | 1,077 | 1,371 | 862 | 1,209 |
| Santa Rosa – Periférico | 0.55 | 1,062 | 1,346 | 1,721 | 926 | 1,364 |
| Periférico – Circunvalación | 1.35 | 1,062 | 1,346 | 1,721 | 1,560 | 2,183 |
| Circunvalación – Ave 7 | 0.67 | 429 | 527 | 861 | 667 | 866 |
| * Radial Heredia – Uruca | 1.03 | 987 | 1,128 | 1,534 | 1,036 | 1,459 |
| * Radial Heredia – B Carrillo | 2.50 | 1,054 | 1,311 | 1,883 | 1,004 | 1,300 |
| * Circunvalación – C Blancos | 1.52 | 740 | 880 | 1,128 | 799 | 1,046 |

* Sobre Avenida de Circunvalación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Demanda estimada por tramo diaria con Anillo Periférico

| Tramo | Longitud | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|-------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| San Francisco – Lagos | 3.35 | 11,970 | 14,701 | 18,996 | 13,425 | 19,238 |
| Lagos – Santa Rosa | 1.65 | 15,408 | 18,734 | 23,864 | 14,993 | 21,030 |
| Santa Rosa – Periférico | 0.55 | 18,478 | 23,429 | 29,947 | 16,117 | 23,733 |
| Periférico – Circunvalación | 1.35 | 18,478 | 23,429 | 29,947 | 27,147 | 37,987 |
| Circunvalación – Ave 7 | 0.67 | 7,469 | 9,170 | 14,977 | 11,614 | 15,071 |
| * Radial Heredia – Uruca | 1.03 | 17,172 | 19,627 | 26,696 | 18,026 | 25,390 |
| * Radial Heredia – B Carrillo | 2.50 | 18,338 | 22,821 | 32,763 | 17,465 | 22,616 |
| * Circunvalación – C Blancos | 1.52 | 12,882 | 15,306 | 19,623 | 13,900 | 18,202 |

* Sobre Avenida de Circunvalación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Tránsito promedio diario anual (TPDA) con Anillo Periférico

| Año | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TPDA | 13,932 | 17,079 | 23,196 | 15,704 | 21,483 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Ingreso bruto anual en US \$ con Anillo Periférico

| Estación de peaje | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Sobre Radial | 4,590,252 | 5,792,068 | 7,852,781 | 6,613,386 | 9,034,100 |
| Sobre Circunvalación | 7,452,881 | 9,194,744 | 12,668,764 | 9,594,052 | 13,091,688 |
| Total | 12,043,133 | 14,986,812 | 20,521,545 | 16,207,438 | 22,125,788 |

Fuente: Elaboración propia

10 ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

Un resultado importante del estudio de la Radial Heredia – San José, es realizar recomendaciones de diseño en términos del número de carriles en tramos continuos entre intersecciones y de la disposición geométrica de sus enlaces, mediante el análisis de los flujos vehiculares que se espera circularán por ella en el futuro.

Específicamente, se trata de determinar las condiciones de operación vehicular esperadas en el futuro a través de estos años en términos de niveles de servicio, densidades vehiculares, velocidades, capacidad y reservas de capacidad.

El análisis de tránsito de la Radial Heredia – San José se divide en dos partes. En la primera parte se analizan los diferentes tramos de la Radial considerados como tramos básicos de la vía entre intersecciones, y en la segunda parte se analizan los entronques de la Radial Heredia San José con las vías existentes.

10.1 Tramos básicos de la Radial

La metodología utilizada en el análisis de capacidad de los tramos básicos de la Radial Heredia y Circunvalación es la desarrollada por el Transportation Research Board (TRB: Oficina de Investigaciones de Transporte) de los Estados Unidos, mediante el uso del Highway Capacity Manual (HCM: Manual de Capacidad Vial), y su versión computacional Highway Capacity Software (HCS: Programa de Capacidad Vial) en su versión 3.2 (1998) desarrollado por el centro McTrans en la Universidad de Florida en EUA.

El diseño de la Radial Heredia cuenta con los siguientes tramos básicos:

Tabla 42. Tramos básicos de la Radial Heredia

| Tramo No. | Descripción |
|-----------|------------------------------------|
| 1 | San Francisco – Lagos |
| 2 | Lagos – Santa Rosa |
| 3 | Santa Rosa – Anillo Periférico |
| 4 | Anillo Periférico – Circunvalación |
| 5 | Circunvalación – Avenida Séptima |
| 6 | Circunvalación – Radial Uruca |
| 7 | Circunvalación – Braulio Carrillo |
| 8 | Braulio Carrillo – Calle Blancos |

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los volúmenes horarios esperados en hora de máxima de demanda. Para realizar este análisis, se utilizó el programa de cómputo HCS para estimar el número de carriles necesario para acomodar los volúmenes esperados manteniendo un nivel de servicio mínimo de C, a lo largo de la concesión.

Es importante mencionar que los tramos de Circunvalación se diseñan de forma preliminar debido al menor grado de confiabilidad de información necesaria para estimar la demanda captada por esta vía, principalmente por la falta de vehículos de carga en la matriz del SIATGAM.

Tabla 43. Volúmenes críticos estimados por tramo por hora y carriles requeridos

| Tramo | Descripción | Volumen | Carriles |
|-------|------------------------------------|---------|----------|
| 1 | San Francisco – Lagos | 1,412 | 2 |
| 2 | Lagos – Santa Rosa | 1,724 | 2 |
| 3 | Santa Rosa – Anillo Periférico | 2,220 | 2 |
| 4 | Anillo Periférico – Circunvalación | 2,220 | 3 |
| 5 | Circunvalación – Avenida Séptima | 1,397 | 2 |
| 6 | Circunvalación – Radial Uruca | 2,055 | 3 |
| 7 | Circunvalación – Braulio Carrillo | 2,080 | 3 |
| 8 | Braulio Carrillo – Calle Blancos | 1,223 | 2 |

Fuente: Elaboración propia

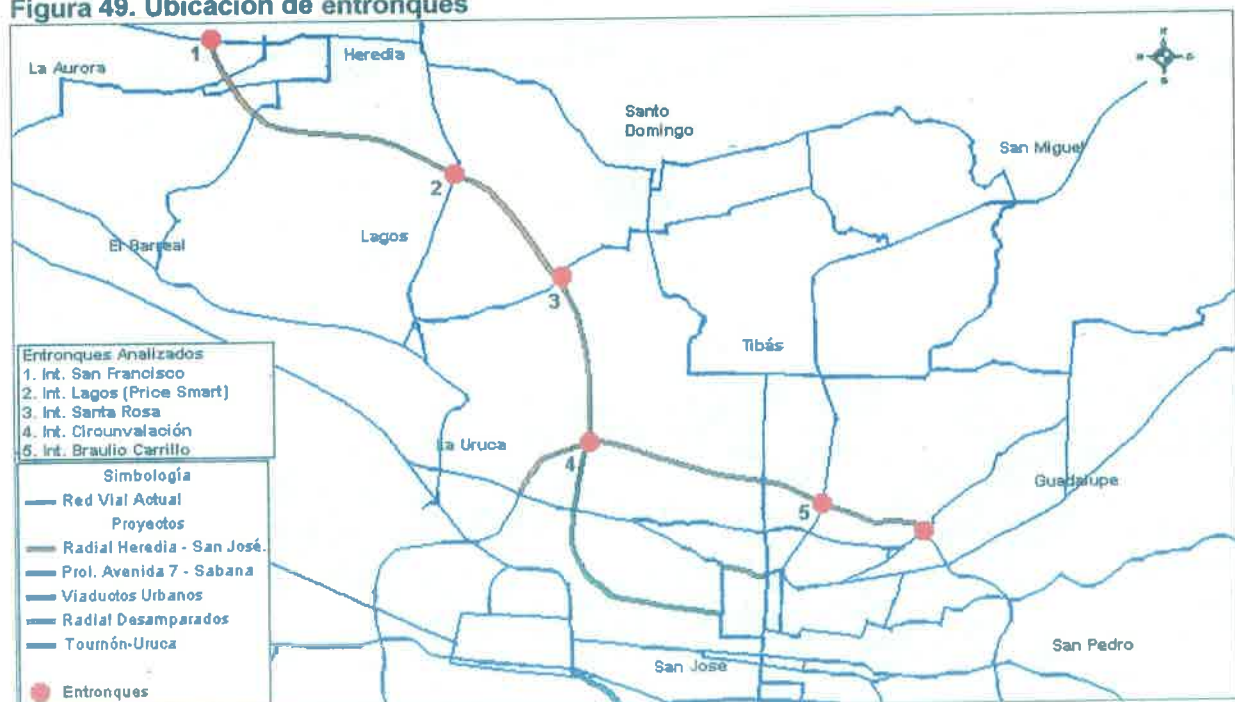
Los tramos son analizados bajo el supuesto que se aplicará la tarifa de peaje de 400 colones, la cual maximiza ingresos, pero disminuye la captación de vehículos con relación a una tarifa más baja.

10.2 Entronques de la Radial

Se prevé la operación de cinco entronques a lo largo del trazo de la Radial y Circunvalación, los cuales pueden ser vistos en la siguiente lista y figura.

1. Entronque de Radial con Ruta No. 3 en San Francisco de Heredia
2. Entronque de Radial con Ruta No. 3 en Lagos de Heredia
3. Entronque de Radial con Ruta No. 103 en Santa Rosa de Santo Domingo
4. Entronque de Radial con Avenida de Circunvalación
5. Entronque de Circunvalación con Autopista Braulio Carrillo

Figura 49. Ubicación de entronques



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los entronques, la información correspondiente a los volúmenes de diseño es tomada a partir del año donde más vehículos son estimados que transitarán por dicho entronque, en este caso se utilizaron los volúmenes estimados para el año 2026.

Para la evaluación de la intersección ubicada en el cruce entre la Radial Heredia – San José y la Ruta No. 3 en Lagos, ciertos movimientos se restringieron como lo muestra la Figura 50. El objetivo de esta restricción es impedir que la Radial sea utilizada como una vía periférica al centro de Heredia, lo que ocasionaría incremento en el flujo vehicular de este tramo con viajes cortos, que ocasionarían un desmejoramiento en la condición de circulación de los usuarios principales de la vía. Por otro lado, el flujo que captaría como una vía periférica no justifica el establecimiento de casetas de peaje, ya que no se podrían cubrir los costos de operación de las mismas con el flujo captado.

Figura 50. Intersección Lagos



Fuente: Elaboración propia

En el entronque conformado por la Radial Heredia – San José y Circunvalación, se restringió el movimiento existente que proviene del oeste sobre Circunvalación y se dirige al sur. Este movimiento fue restringido debido a limitaciones de espacio para construir este tramo, así mismo, un análisis comparativo mostró que el aforo adicional proporcionado por este movimiento no cubriría los altos costos que implicaría su construcción. En este mismo entronque, se restringió el movimiento de viajes que provienen del sur por la Prolongación de la Avenida Séptima y que se dirigen hacia el oeste por Circunvalación. Esta restricción se da debido a que, a parte de no cubrir los costos de inversión necesarios, se funda a partir de la priorización que se pretende dar a la red vial de San José. Con esta medida, se evita que usuarios que se incorporen a la Radial o a Circunvalación utilicen estas vías como vías locales y por lo tanto permitir que la Radial y Circunvalación sean utilizadas por viajes de largo recorrido.

Figura 51. Intersección Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

10.2.1 Análisis de los entronques de la Radial

El análisis de capacidad de los entronques se realizó en dos partes: primero se llevó a cabo un análisis mediante el programa HCS, después se llevó a cabo una simulación de cada entronque mediante el programa Synchro/SimTraffic de Trafficware, Inc. Los resultados arrojados por cada programa pueden ser observados en el anexo correspondiente.

A continuación se muestran imágenes del proceso de simulación de cada entronque. Los volúmenes utilizados en el diseño y simulación de los entronques fueron obtenidos de la modelación del periodo pico del año horizonte 2026, con tarifa de peaje de 100 colones para vehículo ligero, ya que es el escenario más crítico de aquellos que fueron analizados.

Figura 52. Entronque San Francisco



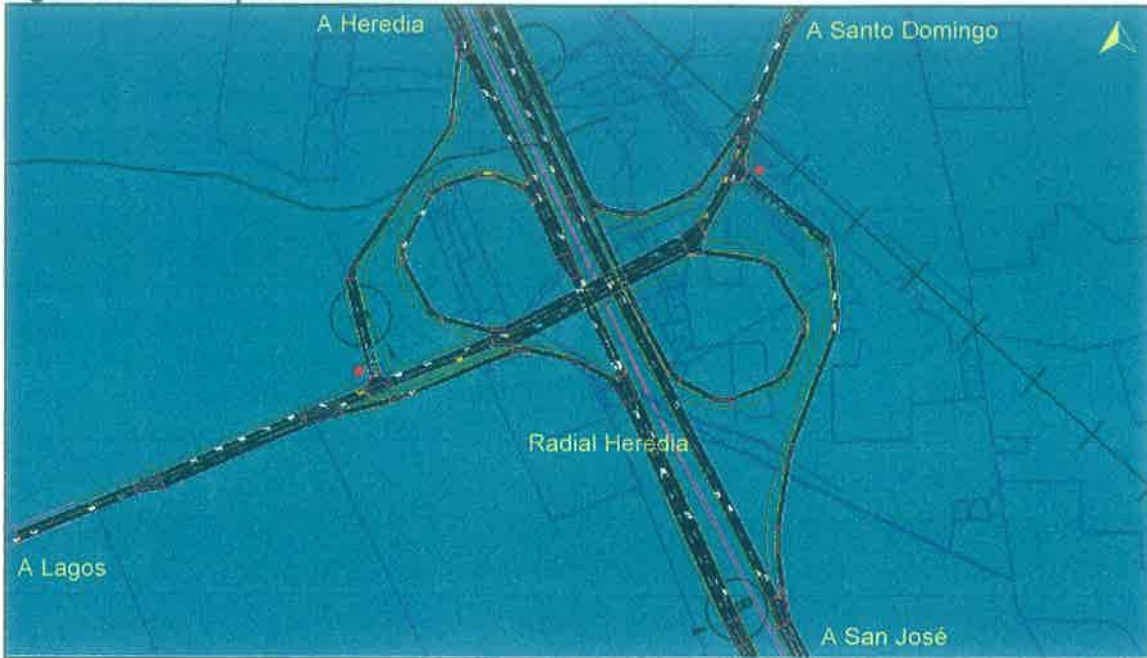
Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Entronque Lagos



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Entronque Santa Rosa



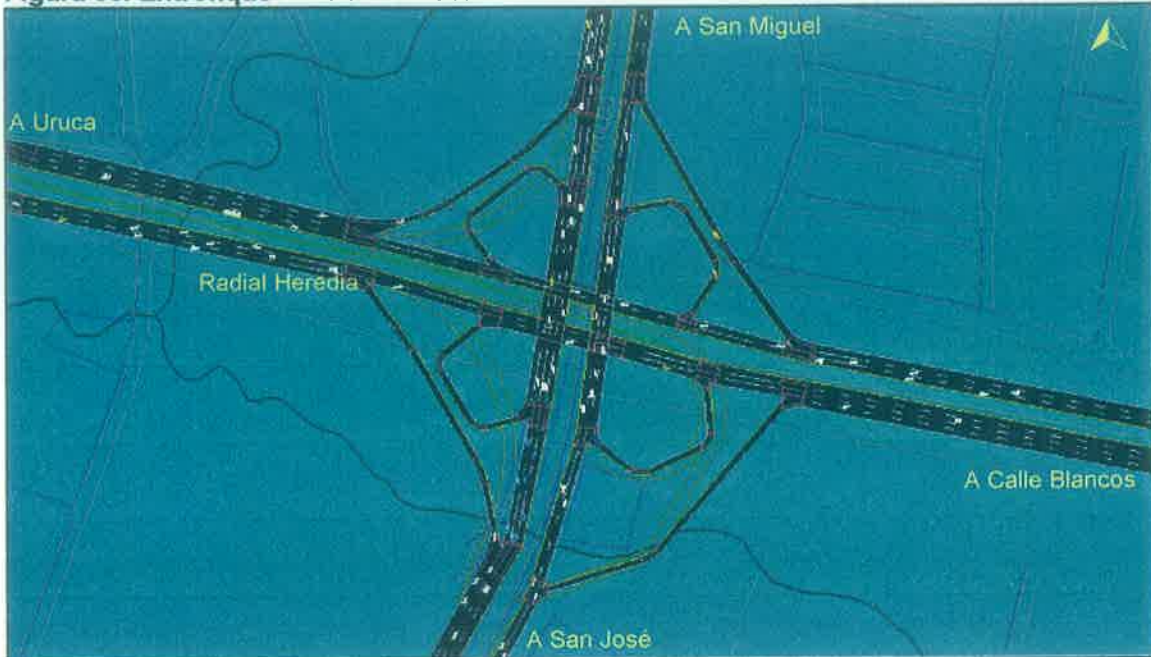
Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Entronque Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Entronque Braulio Carrillo

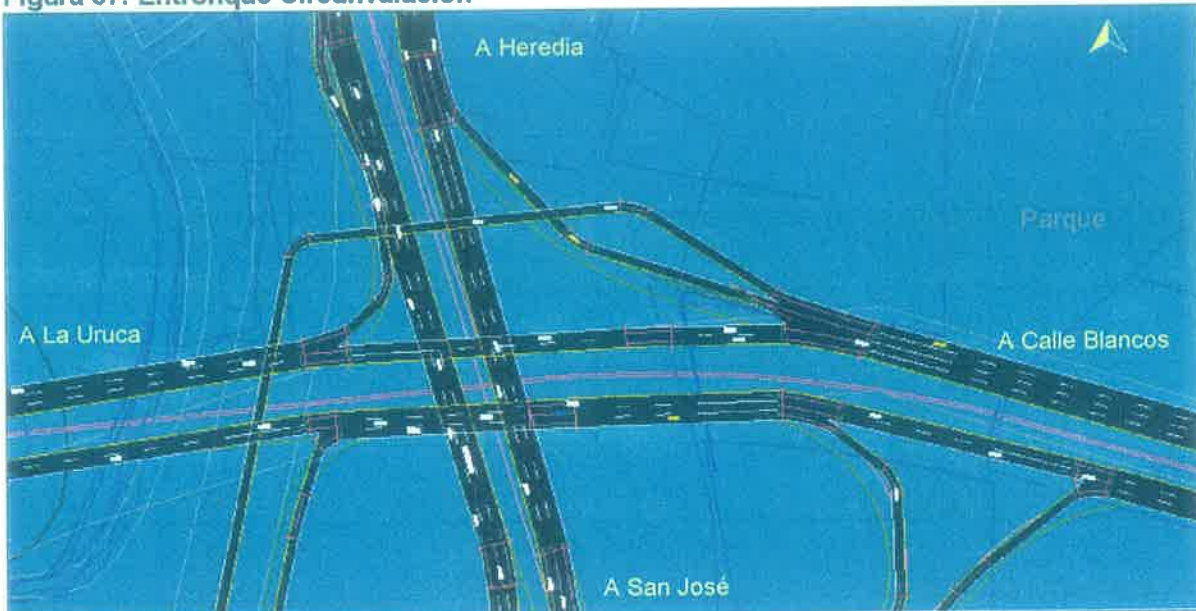


Fuente: Elaboración propia

Del análisis por simulación llevado a cabo a la Radial se pueden listar las siguientes conclusiones:

- Los entronques de la Radial Heredia no presentan problemas de capacidad u operación con el diseño propuesto, incluyendo carriles de incorporación y desincorporación que permita el flujo continuo en los entronques. Es importante recalcar la importancia de dichas incorporaciones y desincorporaciones en los entronques de la Radial. La ausencia de esta infraestructura ocasionaría demoras excesivas que pueden ser observadas actualmente en entronques en la red vial de San José, específicamente en el entronque de Circunvalación con la Autopista General Cañas y especialmente en el entronque de Circunvalación con la Autopista Próspero Fernández. Note en la siguiente figura los carriles en los accesos recomendados en el entronque de Circunvalación y Radial Heredia.

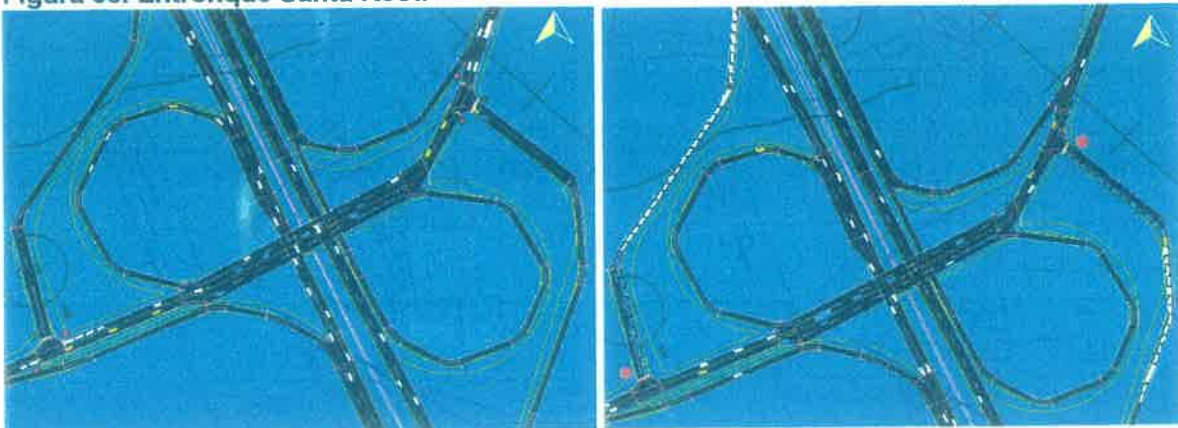
Figura 57. Entronque Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

- Se estima que el crecimiento de tráfico en los entronques ubicados en la intersección Santa Rosa, requerirán el uso de un semáforo a partir del año 2016. Se recomienda el uso de un sistema de controlador actuado que otorgue prioridad al flujo de la Ruta 103 (La Valencia) y que solo se active derecho de paso a las salidas de la Radial cuando sea necesario. En la siguiente figura se presenta el escenario con semáforo y sin él, note la formación de colas en las salidas de la Radial.

Figura 58. Entronque Santa Rosa



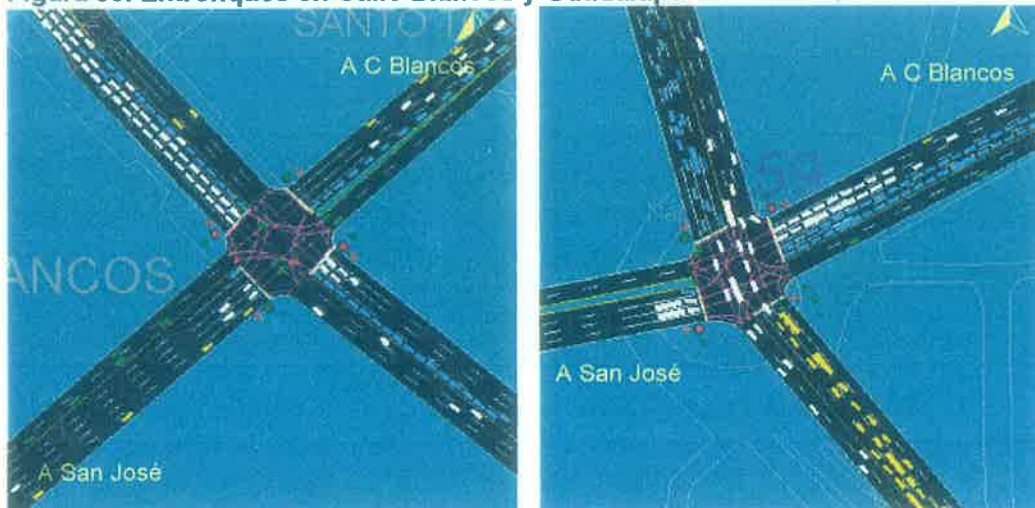
Fuente: Elaboración propia

- El entronque de Circunvalación con la Autopista General Cañas, presenta niveles altos de demora y congestionamiento debido a la falta de acceso y salida continuo. Se debe prever la necesidad de mejorar este entronque con la construcción de carriles de acceso y desincorporación que permitan el flujo libre de los vehículos. Actualmente ya existen

problemas de congestión, por lo que con el crecimiento del flujo vehicular en dicha intersección

- La intersección Toumón, tendrá problemas fuertes de congestionamiento debido a que el volumen que recibe del norte crecerá importantemente y el semáforo no tiene la capacidad para dar continuidad a este flujo. El origen de los viajes que utilizan más este acceso son las áreas al norte del Río Virilla por la Autopista y también, con la operación de Periférico, esta vía sirve como acceso importante al centro de San José. La siguiente figura muestra el nivel de congestionamiento futuro en dichas intersecciones. Es posible solucionar este tipo de problemas con la construcción de pasos elevados en dichas intersecciones y plantear la necesidad de mejorar la red vial al interior de Circunvalación con el uso de ejes viales que brinden continuidad a las vías primarias.

Figura 59. Entronques en Calle Blancos y Guadalupe



Fuente: Elaboración propia

- Se debe prever la construcción de pasos elevados que permitan el flujo continuo en las intersecciones de Calle Blancos y Guadalupe, ya que el crecimiento del tráfico pronostica demoras excesivas en cada una de estas intersecciones actualmente semaforizadas.
- Se estiman excesivas demoras en la Radial Uruca aún con la operación de la Avenida de Circunvalación completa, deben tomarse medidas para restringir el tránsito por esta vía e incentivar el viaje de largo recorrido por Circunvalación o Periférico u otras rutas.

11 SISTEMAS DE PEAJE

El Proyecto Radial Heredia – San José será una vía de cuota que operará tanto en un tramo urbano como un suburbano, permitiendo una conexión rápida en el sentido norte-sur en el sector norte del Gran Área Metropolitana (GAM) de San José. Así mismo, si se realiza la conclusión de la Avenida de Circunvalación, se agilizará el movimiento también en la dirección este-oeste en la parte norte de San José. La función de la autopista se consolidará a lo largo del tiempo, pues se espera que esta zona del GAM tenga un crecimiento constante en los próximos años.

La operación de la Radial Heredia – San José será por medio de una concesión a operador privado, sistema que actualmente no está siendo utilizado en ninguna vía de Costa Rica. Se ha planteado este sistema de operación de carreteras para otros proyectos, en especial la Autopista General Cañas, el corredor San José – Caldera, los Viaductos Urbanos y la Autopista Bernardo Soto. Hasta el momento, no ha sido ejecutado este esquema en ninguno de los casos propuestos.

En este capítulo se describen los diversos aspectos relacionados con la tecnología de peajes y con el diseño y el esquema de operación que la nueva vía deberá tener para garantizar el éxito del proyecto como estructura concesionada.

11.1 Alternativas de sistemas de estaciones de peaje

Existen diversas alternativas de solución para la Radial Heredia – San José, las alternativas de sistemas de peaje, los cuales son descritos de forma genérica en esta sección.

Los sistemas de cobro de peaje son clasificados en tres tipos:

- Sistema Abierto: Utilizado normalmente en vías en las que no se presentan muchos accesos. Sin control de accesos o salidas de la vía, las casetas se ubican sobre la vía principal.
- Sistema Cerrado: utilizado en vías con varias intersecciones con vías importantes, se controlan los accesos y las salidas de la vía principal. Se utiliza un cobro diferencial, de acuerdo a los tramos de la vía utilizados.
- Sistema Mixto: Es un sistema que se genera como combinación de los dos sistemas anteriores. Utilizado en vías con características especiales, en las cuales no conviene la utilización de un sistema puro.

En cada una de estas categorías se pueden plantear diferentes tecnologías de recaudo, en función de la forma de cobro utilizada, entre las cuales se encuentran, carriles de recaudo manual con operador, carriles automáticos con máquinas para pago exacto, máquinas de tiquete o tarjeta, carriles con sistemas electrónicos IAV (Identificación Automática de Vehículos), que consta de antenas, tarjetas de código de barras o tarjetas inteligentes. Normalmente los sistemas electrónicos funcionan como un sistema de prepago.

A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas considerados.

11.1.1 Sistema abierto

Ventajas:

- Menor número de casetas.
- Menor Inversión inicial.
- Facilidad de operación.

- Buen nivel de servicio ofrecido al usuario en los casos en los cuales las vías se puede ubicar una sola caseta para el cobro de todos los movimiento o que éstas estén separadas por una distancia de por lo menos 25 km (lo que equivale a 20 minutos entre casetas, a 80 km/h).

Desventajas:

- En el caso de vías con varios accesos: no permite que el cobro sea proporcional al tramo utilizado, no permite cobrarle a todos los usuarios o toma necesaria la instalación de diversas casetas.
- En el último caso, en un tramo de corta longitud, constituye un incómodo importante para el usuario, por tener que detenerse en más de una plaza de cobro durante un corto periodo de tiempo.

11.1.2 Sistema cerrado

El sistema cerrado presenta diversas ventajas con relación al sistema anterior, pero tiene algunos aspectos negativos a ser considerados:

Ventajas:

- Se cobra a todos los usuarios de la vía, tornando claro el concepto de vía de peaje.
- El cobro se realiza proporcionalmente a los tramos recorridos por el usuario.
- Incremento sobre la calidad del servicio con respecto al sistema abierto.
- El usuario paga solamente una vez por la utilización de la vía.

Desventajas:

- Mayor número de casetas (una en cada acceso, tanto para entradas como para salidas de la vía).
- Altos costos de instalación y de operación.
- El usuario deberá pasar dos veces por casetas de peaje por la utilización de la autopista.

11.1.3 Sistema mixto

El sistema mixto constituye una combinación entre los anteriores, en el cual se busca aprovechar las ventajas de cada uno. Se busca obtener las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Facilidad de operación
- Todos los usuarios pagan peaje.
- Menor número de casetas que el sistema cerrado.
- Menores costos de instalación y de operación con respecto al sistema cerrado.
- Ahorros de tiempo para los usuarios por el pago del peaje (un solo pago).

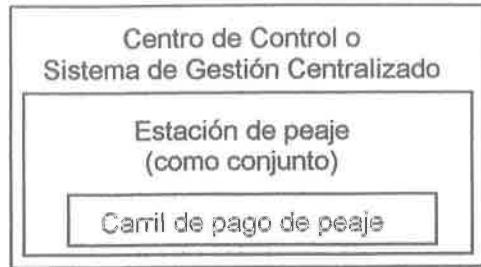
Desventajas:

- Mayor número de casetas con respecto al sistema abierto
- Interferencia en algunos enlaces por la ubicación de las casetas sobre las vías que interceptan la vía principal.

11.2 Tecnologías de peaje

11.2.1 Sistemas de peaje

Como definición para todos los sistemas o esquemas de peaje se puede considerar una composición básica que incluye tres niveles de subsistemas:



Cada nivel cumple con funciones más o menos definidas con pocas diferencias funcionales entre distintos fabricantes y tiene sus componentes básicos y una serie de elementos adicionales, que aumentan su capacidad y potencial de operación.

En términos generales, podemos describir cada nivel de la siguiente forma:

1. Centro de Control o sistema de gestión centralizado:

- Sistema completo para procesar la información de todas las estaciones de peaje, con la posibilidad de recolectar tanto los datos de los carriles automáticos, como de los de manejo manual, sistemas de comunicaciones, CPU para manejo integral de toda la información.
- Dispone de los medios de procesamiento y comunicación para recolectar y procesar unificada y consistentemente toda la información de las estaciones de peaje gobernadas.
- Cuando se usan medios de pago "virtuales" es indispensable establecer un Sistema Controlador Central de Gestión de Pagos para la interacción con el sistema financiero y para operar y controlar los medios de pago particulares de propiedad de la Concesionaria de la carretera.

2. Estación de Peaje:

Se compone de un sistema de reconocimiento y clasificación del tipo de carril existente, sistema de señalización y control de tráfico (como barreras y semáforos), controlador de tráfico, control de ingresos, sistemas de actualización de parámetros de operación. Se compone de:

- El sistema de control de la estación de peaje: en este reside el software de gestión de la estación, las bases de datos consolidadas de la estación, los protocolos de comunicación con el nivel 1 y 3 y el terminal de comunicaciones para el acceso remoto desde el Sistema de Gestión Centralizada. Por lo general, para efectos funcionales y de seguridad, el control de estación está duplicado.
- El sistema de auditoría con video de la estación (opcional): permite monitorear las transacciones de carril y establecer control de discrepancias entre la clasificación realizada por el operador de la caseta y la realizada electrónicamente. Dispone de una cámara por carril, un sistema de video grabación y una interfase con el sistema de control de estación de peaje.
- El sistema de gestión con medios de pagos electrónicos o virtuales (opcional): cuando se utilizan medios de pago diferentes al efectivo, es necesario disponer de un sistema de gestión especializado que interactúa con el sistema financiero y con el control de gestión de medios de pago. Los medio y formas de pago se describen posteriormente.

3. Carril de Pago de Peaje:

El sistema básico se compone de:

- Los sistemas de detección de presencia.
- El sistema de conteo de ejes.

- El sistema de separación de vehículos.
- Las barreras automáticas de control de paso.
- La señalización asociada con la circulación en el carril.
- El sistema de control del carril: en éste reside el software de soporte de clasificación de vehículos, las bases de datos de las transacciones de carril y los protocolos de comunicación con el equipo asociado a la estación de peaje.

Los sistemas de control de acceso y salida de la caseta de peaje, pueden estar equipadas con barreras de control, semáforos, celdas fotoeléctricas, detectores magnéticos (loop), clasificadores dinámicos, clasificadores automáticos por categorías, etc. Adicionalmente al sistema básico, a este nivel se le puede agregar un sistema de identificación automática de vehículos (IAV) para efecto de cobro con Telepeaje.

11.3 Opciones tecnológicas de los equipos de carril

Dentro de las opciones tecnológicas existen dos funciones que deben cumplir:

- detectar y clasificar vehículos
- recaudar el peaje

A continuación se presentan en detalle las tecnologías disponibles para realizar estas dos tareas.

11.3.1 Tecnología de clasificación de vehículos

La clasificación automática de vehículos (CAV) se refiere a los diferentes componentes y procesos del sistema de recaudo de peajes con los cuales el equipo de recaudo es capaz de determinar la configuración del vehículo con el propósito de cargar la tarifa adecuada al usuario. Esta tarea es necesaria para poder llevar un control de los vehículos que transitan por la estación y para poder cobrar el peaje correspondiente al tipo de vehículo automáticamente si es el caso.

Los vehículos se catalogan en clases tales como automóviles, buses, camiones, etc. principalmente para cargar diferentes tarifas para las diferentes clases de vehículos. Los sistemas CAV, de los cuales hay muchas clases, consisten de varios dispositivos, ubicados en la estación de recaudo, que miden las características físicas de los vehículos. El procesador de CAV usa las salidas de estos dispositivos para clasificar los vehículos dentro de las diferentes clases definidas.

Los sistemas de clasificación automática de vehículos (CAV) pueden presentar la posibilidad de pago con tarjeta de crédito, tarjeta prepagada, TAG electrónico (tarjeta de cinta magnética), máquinas automáticas de pago exacto, tiquetes especiales, pago en efectivo (directamente al recaudador). Estas posibilidades varían de acuerdo al equipo instalado en el carril.

En los sistemas de recaudo manual, los sistemas CAV se usan para verificar la clasificación asignada por la operadora de la estación de recaudo. En los sistemas de recaudo automático, los sistemas CAV se utilizan para calcular el valor de peaje o para verificar la clasificación indicada por el TAG del vehículo.

Algunos factores para determinar la clase de vehículo pueden ser:

- Dimensiones del vehículo (por ejemplo: altura, longitud)
- Peso del vehículo
- El perfil de altura
- El número de ejes y su ubicación
- La existencia de un remolque y su ubicación

Principio de funcionamiento

Un sistema de CAV consiste de sensores en el carril que registran las características físicas de los vehículos, y una unidad de procesamiento, el cual conjuga la entrada de los diferentes sensores e interpretan estas entradas para asignarle una clase a cada vehículo que transita por el carril. La clase asignada por el vehículo se envía al sistema de procesamiento de transacciones de vehículos, el cual integra la clase asignada al vehículo a la transacción de recaudo. La lógica de procesamiento de CAV debe estar altamente acoplada con el sistema de procesamiento de transacciones de vehículos para asegurar que los datos de clasificación se asignan a la transacción de vehículos correcta.

Pre-clasificación vs. post-clasificación

Los sistemas CAV que se usan para determinar la clasificación del vehículo antes de que el vehículo esté en la ventanilla de recaudo se refieren como Sistemas de Preclasificación, mientras que aquellos sistemas CAV que determinan la clasificación del vehículo después de que el vehículo ha pasado la estación de recaudo, se denominan como sistemas de post-clasificación. Los sistemas de post-clasificación se utilizan para verificar que la tarifa ya cobrada sea la adecuada al vehículo, basada en su clasificación (para transacciones manuales). Los sistemas de pre-clasificación tienen la desventaja de requerir un gran espacio para realizar la detección adecuada.

11.3.2 Tecnologías de detección de vehículos

Cable Inductivo

Un detector de vehículo que consiste de un cable de alambre de aproximadamente 2 metros cuadrados instalado en el carril. Este se energiza con una corriente alterna; cuando un vehículo pasa, el vehículo absorbe una porción de energía y una salida indica la presencia de un vehículo. Actualmente un detector de vehículo correctamente instalado proporciona un excelente desempeño y confiabilidad en la detección de vehículos, teniendo en cuenta de los costos totales de la instalación. Aunque instalado en el carril, es una tecnología dominante para detección de vehículo.

Microondas (Radar)

Es un detector de vehículos, no invasivo, el cual transmite energía electromagnética, típicamente en la banda de 24 Ghz y escucha el "eco" de retorno. Se puede medir la presencia y velocidad del vehículo. Unidades avanzadas pueden determinar la distancia del objeto al detector y así es posible fijar múltiples zonas de detección.

Cable Piezo

Un detector de ejes, hecho de un cable piezoeléctrico delgado el cual genera un voltaje en respuesta a la presión de las llantas de un vehículo. Usualmente encapsulado e instalado en una ranura angosta a lo ancho del carril. Se puede usar para medidas de velocidad y para peso-en-movimiento. No puede retener la detección de presencia de eje por mucho tiempo.

Cinta Capacitiva

Un detector de ejes, hecho de una película delgada de aluminio, con una brecha de aire interna, la cual se comprime cuando un eje pasa sobre el. Es principalmente un sensor para pesaje en movimiento, es también adecuado para detección de ejes. Puede retener la información de detección de eje.

Láser

Detectores de vehículos, similares a los detectores de microondas, excepto que operan a longitudes de onda menores en el espectro visible e infrarrojo. Su pequeño ancho del haz lo hace adecuado para aplicaciones de medidas precisas. Proporciona datos de presencia, velocidad y longitud. La tecnología infrarroja activa cae en este rango. Es afectado por una pobre visibilidad o una alta precipitación.

Infrarrojo Pasivo

Un detector infrarrojo pasivo determina la energía térmica del vehículo y proporciona una salida de presencia. Es posible una amplia zona de detección. No se pueden detectar los vehículos que no tengan una diferencia de temperatura con el nivel del fondo (background). Es susceptible a los efectos de la niebla, nieve o lluvia intensa.

Procesamiento de imágenes de video

Es una tecnología con un amplio potencial de aplicaciones en monitoreo de propósito general y para gestión de tráfico, detección de accidentes e identificación de vehículos evasores en estaciones de peaje (lectura de número de placa). Tiene algunas limitaciones que la hacen jugar un papel complementario con otras tecnologías.

Un sistema de video grabación (cámaras sobre la vía, multiplexores, ...) graba los movimientos de tráfico a través de lentes de área amplia. La unidad de procesamiento reúne estas imágenes y las transforma en datos de tráfico digitalizados. Posteriormente, éste transmite los datos a los controladores de tráfico (locales o remotos), donde procesamientos matemáticos de los datos producen estadísticas que reflejan elementos como volumen de tráfico, longitud de colas, velocidad de vehículos, etc.

Magnetómetro

Un detector de vehículos activo que mide las variaciones del campo magnético de la tierra cuando pasa un vehículo. Se usa en lugar de bucles inductivos en puentes o en lugares de concreto altamente reforzado.

Ultrasonido

Un detector ubicado en un parte alta el cual emite pulsos de sonidos a frecuencias sobre el nivel de audición humano y luego escuchan por el eco de retorno. Proporciona una salida de presencia. Actualmente se están desarrollando sistemas con múltiples micrófonos que generan una imagen 3D del tráfico.

11.3.3 Tecnologías de identificación de vehículos

La Identificación Automática de Vehículos, IAV, se refiere a los diferentes componentes y procesos del sistema de recaudo de peajes con los cuales el equipo de peajes es capaz de identificar el vehículo con el propósito de cargar el valor de la tarifa del peaje al usuario correspondiente.

El IAV a su vez se compone de:

- Un transponder o Tag ubicado en el vehículo.
- Una antena.
- Un sistema de control con procesador con interfaz al sistema de clasificación o de cobro.

Los sistemas del nivel uno pueden operar con cobro manual o con Telepeaje.

Las tecnologías de IAV se dividen en dos categorías principales:

Láser

El sistema láser lee una cinta con un código de barras adherida al vehículo, similar a los scanners de los supermercados.

Radio frecuencia – RF

Los sistemas RF, también conocidas como comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC), utilizan un transponder o TAG (radiofaro de respuesta) el cual se monta sobre el vehículo, detrás del parabrisas o en el piso, el cual es leído por una antena / lectora de RF estacionaria.

Es una tecnología de bajo costo. Los precios de los TAGs están en el rango de US\$20 a US\$150 y los usuarios no corren costos por tiempo en el aire ni cargos por uso.

La tecnología RF tiene muchas ventajas sobre el sistema láser y se está imponiendo como la alternativa principal para los nuevos sistemas de recaudo de peajes.

Existen 3 tecnologías RF principales:

- **RF TAGs**

Un TAG RF es un dispositivo localizado sobre o dentro del vehículo el cual se usa en conjunto con una antena / lectora de RF ubicada en la estación de recaudo, para comunicar información de identificación del vehículo y del usuario al sistema de recaudo. La información almacenada en el TAG es fija (de solo lectura) y no se puede cambiar y el TAG no tiene ninguna capacidad de procesamiento (TAG tipo Y). También existen TAG tipo II en los cuales la antena del peaje puede codificar información como Sitio de tránsito, fecha y hora del paso por el peaje, etc. El TAG RF incluye una batería, no reemplazable por el usuario, con una vida útil de entre 5 y 10 años.

- **TAG RF Inteligentes**

Un TAG RF Inteligente es un dispositivo RF ubicado en el vehículo, que se usa en conjunto con una antena / lectora de RF ubicada en la estación de recaudo, para comunicar información de recaudo sobre el vehículo, usuario y estado de cuenta a la estación de recaudo. El TAG inteligente contiene un microprocesador que mantiene el estado de cuenta, el cual se actualiza cada vez que el TAG pasa por una estación de recaudo.

- **Tarjetas Inteligentes con Transponder RF**

En este caso se requiere de una tarjeta inteligente y un TAG RF separado. La tarjeta inteligente es un dispositivo de circuito integrado (IC) el cual contiene un microprocesador y memoria y almacena información de balance de cuenta.

Tecnología de video

Consiste de un sistema de captura de imagen continua que permite visualizar las imágenes de todos los carriles y las almacena en un sistema de vídeo grabación con velocidad variable. Las imágenes de vídeo contienen superpuesta la información de carril, número de transacción, hora y fecha; así como la clasificación vehicular generada por el cajero y por la post-clasificación electrónica. En la estación de peaje se tiene un sistema de monitoreo central que permite visualizar los carril de la estación. Para fines de compatibilidad, el sistema de video a utilizar es el NTSC. Para el caso de vídeo digital, la resolución de digitalización, en píxeles de alto por ancho, es como mínimo de 320x240 a 8 bits.

11.3.4 Sistema de recaudo de cobro de peaje

En la actualidad para el recaudo de peaje, existe gran variedad de sistemas, que se pueden agrupar en tres categorías básicas, definiendo las variaciones tecnológicas que caracterizan a cada una de ellas.

Estos sistemas se pueden utilizar de forma individual por estación de peaje o combinando varios sistemas en una estación de peaje, buscando siempre un equilibrio entre un alto nivel de operación de la vía y la disminución de costos de operación del sistema.

Se presentan a continuación las diferentes categorías, con algunas de las variables que pueden presentar. Todas ellas se complementan además con sistemas de categorización vehicular y de control de recaudo, que deben ser analizadas dentro del estudio para el montaje del esquema de concesión que se pretende. Para cualquier tipo de estación, es posible que se haga necesario adaptar el Software que maneja el sistema, para acoplar el esquema de operación de la vía a las características requeridas.

Recaudo Manual

Requiere de una persona en la caseta de recaudo para realizar la transacción. Presenta la menor inversión inicial, los tiempos de transacción más altos de todos los sistemas, además de unos costos de operación y mantenimiento elevados comparados con los sistemas de máquina.

Generalmente necesita mayor número de carriles por estación de peaje, pues el promedio de atención de vehículos varía entre 150 y 350 por hora, siendo que más usualmente se ubica entre 180 y 200 vehículos diarios. Es recomendable de todas maneras siempre mantener algunos carriles de recaudo manual, buscando minimizar su número.

Tabla 44. Sistemas de recaudo manual

| Sistema | Identificación vehicular | Categorización | Pago | Observaciones |
|---------|--------------------------|----------------|--|--|
| Manual | Visual | Manual | Dinero en efectivo. Tiquete diferencial. Tiquete código de barras. Tiquete prepago. | Relación entrada y salida Identificación entrada y salida |
| | Electrónica | Automática | | |

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener un sistema de control automático de recaudo generado al realizar la transacción, cualquiera que sea el sistema.

Máquina de Recaudo

La transacción es realizada directamente por el usuario que interactúa con una máquina instalada para tal fin. El tiempo de transacción disminuye con respecto al recaudo manual. El sistema debe tener incorporado el control de recaudo, que debe ser generado en el momento de hacer la transacción.

Tabla 45. Sistema de recaudo con máquina.

| Máquina | Identificación vehicular | Categorización | Pago | Observaciones |
|--------------------|--------------------------|----------------|---|---|
| Pago exacto | Electrónica | Automática | Dinero en efectivo Tarjeta prepagada | Solo monedas Descuenta el valor de una tarjeta comprada con anterioridad |
| Pago prepago | Electrónica | Automática | Tiquete código de barras. | Reconoce un código en tiquete prepago. |
| Tarjeta de crédito | Electrónica | Automática | Tarjeta de crédito | Descuenta el valor automáticamente al pasar la tarjeta. |

Fuente: Elaboración propia

Las máquinas de pago exacto no son recomendables en nuestro medio, pues se tienen experiencias en países latinoamericanos, donde en general se busca "engañar" a la máquina, depositando objetos diferentes a las monedas con las que funciona originalmente. Otra desventaja de este sistema es que se requiere limitar el tipo de monedas aceptado por la máquina y tomando en cuenta la amplia variación de monedas en Costa Rica, no sería la mejor alternativa. Tampoco se recomienda que el sistema de post-pago se utilice, por los problemas de cartera morosa que generaría.

Pago Electrónico

La transacción es realizada por un sistema compuesto por sensores instalados en las estaciones de peaje y tarjetas instaladas en los vehículos, de donde se descuenta la tarifa respectiva. La transacción se realiza sin la detención del vehículo y presenta un promedio de atención de vehículos entre 600 y 1400 por hora.

Debido a que en nuestro medio es necesario contar con la barrera mecánica para el control y prevención de evasión, se estima que inicialmente la velocidad con la cual el vehículo podría circular por la estación de peaje no superaría los 30 kph, lo que hace que el número de vehículos atendidos esté alrededor de 600 por hora. A medida que se madure el proceso de transición hacia el cobro automático, el número de vehículos atendidos podrá aumentar considerablemente. Todo el sistema tiene sus propios controles de recaudo e identificación vehicular.

Este sistema presenta muchas variedades diferentes, pero el funcionamiento básico es el mismo en todos.

Tabla 46. Sistema de recaudo automático.

| Sistema | Identificación vehicular | Categorización | Pago | Observaciones |
|-------------|--------------------------|----------------|----------------------------|--|
| Electrónico | Electrónica | Automática | Tarjeta de cinta magnética | Descuento automático de cuenta especial. |
| | | | Tarjeta inteligente | Descuento automático de tarjeta prepagada. |

Fuente: Elaboración propia

11.3.5 Medios y formas de pago

El sistema de peaje debe permitir los siguientes medios de pago:

- a. Pago en "Efectivo"
 - Dinero
- b. Pago con "dinero virtual"
 - Tarjetas propias de la concesión: Se trata de tarjetas usualmente con banda magnética emitidas por el concesionario, para ser utilizadas solamente en las vías controladas por el mismo.
 - Tarjetas magnéticas y de chip: Se trata de tarjetas con banda magnética y / o chip emitidas por cualquier institución financiera, pueden ser tarjetas bancarias débito o de crédito. Las tarjetas de banda magnética y de chip deberán cumplir con la norma ISO utilizadas en nuestro país por el sistema financiero.
 - Telepeaje: Esta modalidad de pago consiste en una tarjeta de alta frecuencia (Tag) que contiene información codificada del cliente, la cual se detecta a través de un sensor que determina la validez de la tarjeta. Cada vehículo debe tener instalado un Tag o Transponder. El lector de telepeaje graba la identificación del Tag, así como la fecha, hora, localización. En milisegundos, el lector transmite esta información a un centro de datos computarizado par el manejo de los ingresos y facturación. Algunos sistemas de telepeaje también incluyen cámaras que fotografían y digitalizan la imagen de la parte trasera de los vehículos que no tengan Tags válidos.

Las formas de pago posibles son:

- Post-pago (contra facturación)
- Pre-pago a descuento
- Pre-pago de un número fijo de pasos

11.3.6 Alternativas de Solución tecnológica

La combinación entre los elementos tecnológicos presentados permite elaborar diferentes alternativas de solución para la instalación de un sistema de peaje. La composición puede variar entre esquemas que utilicen solamente los equipos básicos de cada nivel (lo que constituiría una solución de rango bajo) o utilizar diversos componentes opcionales, que aumentan la seguridad y eficiencia de la operación, ofreciendo mejores niveles de servicio al usuario (soluciones de rango medio y alto).

La selección de la tecnología adecuada para un proyecto debe buscar minimizar los costos de instalación y operación del sistema, ofreciendo a los usuarios un nivel de servicios de buena calidad.

11.3.6.1 Solución rango bajo

Cuenta básicamente con un sistema de clasificación vehicular que usa contadores de ejes y detectores de ruedas dobles con sensores de piso (en algunos casos piezoeléctricos). El cobro se realiza manualmente y el equipo permite la verificación posterior de la categoría del vehículo.

Lo que lo hace este tipo de solución más económica es que la tecnología de muchos de los componentes físicos del equipo es de tipo comercial (tanto los PCs de carril, los de peaje como las tarjetas de captura de señales, los despliegues de tarifa, el sistema POS y el sistema de comunicación entre PCs son equipos para aplicaciones de oficina). La tecnología del soporte lógico -- software-- es similar a la de las opciones de mayor rango, pero el sistema operativo de base -- generalmente Windows-- ofrece niveles de seguridad aceptables pero no exhaustivos.

El sistema de control de la estación de peaje está conformado por PCs comerciales con sistemas operativos de bajo costo --Windows--, lo que si bien ofrece un nivel de seguridad aceptable para la mayoría de los casos de recaudo del país, para estaciones grandes con altos recaudos es necesario migrar a sistemas del tipo Windows NT o Unix.

El sistema de comunicación con el centro de gestión se basa generalmente en líneas telefónicas convencionales o celulares lo que se traduce en velocidades bajas y por tanto tiempos de acceso muy largos. En esta solución el nivel de desarrollo de los medios de pago virtual es muy incipiente y dado que las comunicaciones son de baja velocidad, no sería práctico pensar en una interconexión con medios de pago electrónicos del sistema financiero convencional.

El nivel de desarrollo de la gestión centralizada también es escaso y aunque se tiene la opción de acceso remoto a las estaciones de peaje, el nivel de integración de la información de varias estaciones es bajo.

11.3.6.2 Solución rango medio

Desde el punto de vista operativo, cumple con funciones muy similares a la opción anterior e incluso en la mayoría de los casos las tecnologías de detección son muy similares.

Las mayores diferencias se presentan en los siguientes aspectos:
En primer lugar, la tecnología utilizada para la construcción de los componentes físicos del sistema es totalmente industrial lo que redundará en una mejora sensible en su presentación y robustez, acrecentando el grado de confianza para el cliente; no obstante, en el medio colombiano la mayoría de los daños en componentes de estos sistemas no son fortuitos, razón por la cual su comportamiento va a ser muy similar a la de la solución anterior y se hace casi indispensable contar con personal de mantenimiento con alta disponibilidad.

En segundo lugar, este tipo de soluciones tiene incorporada una opción de cobro con telepeaje y cuentan con equipos de IAV. Es importante destacar que si bien el costo del sistema de identificación por carril no es muy alto, los mayores costos están en la gestión integral de toda la solución de telepeaje que incluye puestos de atención al público, campañas publicitarias, negociación con usuarios de otros sistemas, etc.

En tercer término esta solución dispone de medios de pago virtuales muy desarrollados, lo que implica soluciones de acceso con canales de alta velocidad y negociaciones con las redes del sistema financiero. Además, los sistemas operacionales del soporte lógico requieren niveles más altos de seguridad por lo que es recomendable trabajar con Windows NT u opciones UNIX.

Finalmente, el Sistema de Gestión Centralizada está muy desarrollado y permite la gestión unificada de todas las estaciones de peaje en un solo sistema de información con interacciones muy fuertes con las redes del sistema financiero y con la red de gestión de los medios de pago virtuales particulares.

11.3.6.3 Solución rango alto

En ésta las diferencias a nivel de sistemas de carril y de estación no son muy significativas con respecto a la opción anterior. Lo que marca una diferencia radical es la arquitectura de gestión centralizada y los canales de comunicación.

La arquitectura de gestión se acoge a estándares internacionales definidos para los Sistemas de Transporte Inteligente (STI ó ITS en inglés), que permiten la integración de la gestión de toda la infraestructura del sistema de transporte de una región o un país en un solo sistema de información. Requiere de una interconexión de muy alta velocidad –fibra óptica- que enlace todas las estaciones de peaje y el centro de gestión, complementadas con sistemas de posicionamiento global (GPS) para la oferta de servicios avanzados a los usuarios de carretera. Dispone además de sistemas de supervisión de imagen remota a todo lo largo de la vía para ofrecer niveles de seguridad y de atención muy alto al usuario de la vía.

Este tipo de soluciones es novedosa en el mundo entero y son convenientes para sistemas de transporte de alto nivel de desarrollo.

11.4 Recomendación de sistema y ubicación de las casetas para la Radial Heredia

11.4.1 Ubicación de casetas

La recomendación con relación a la ubicación de las casetas tiene como principales objetivos:

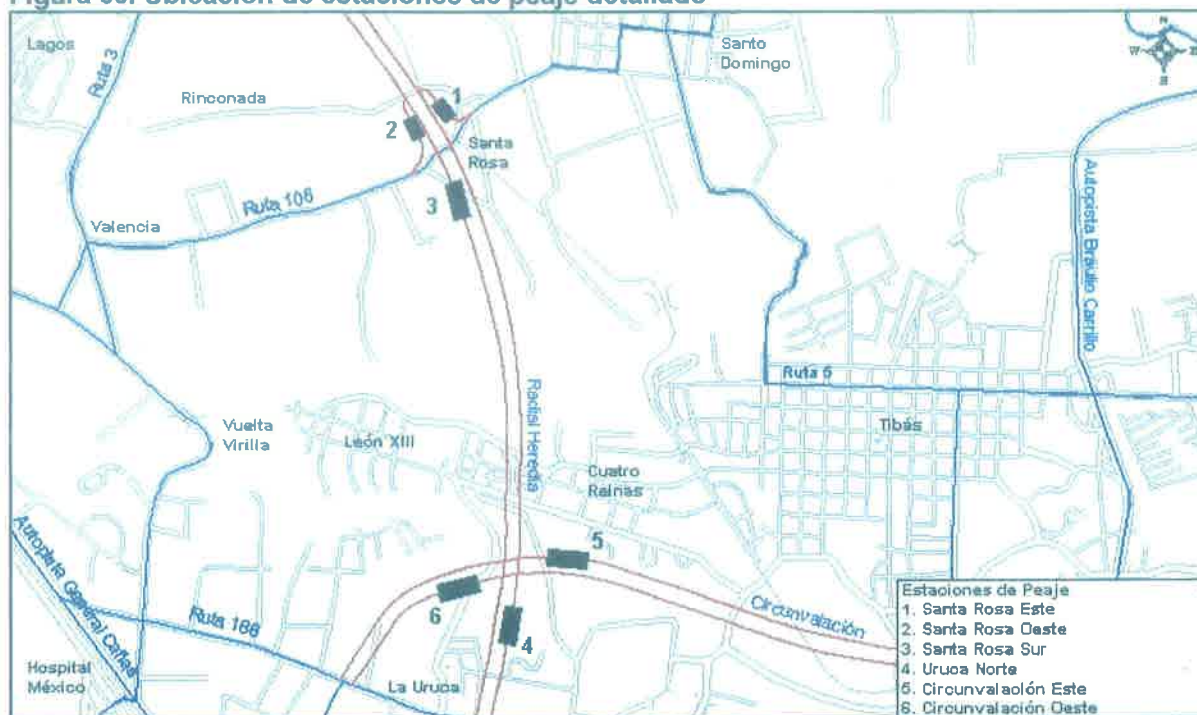
- Ubicar las plazas de cobro de tal forma que todos los usuarios de la vía tengan que pagar peaje por su utilización, haciendo claro el concepto de vía de cuota
- Ofrecer el mejor nivel de servicio posible al usuario, evitando que tenga que detener más de una vez en el trayecto para el pago del peaje;
- Mantener el menor nivel posible de costos de instalación y operación para el operador de la vía, cumpliendo las condiciones anteriores.
- La ubicación de una plaza de peaje deberá posibilitar la recaudación de suficientes fondos para su operación, o en su defecto, cumplir con una función importante con relación al objetivo principal de la vía..

- a) Establecimiento de 6 (seis) estaciones de peaje en el sistema Radial Heredia Circunvalación listadas a continuación:

1. Estación de peaje Santa Rosa Este
Esta estación de peaje se localiza en el acceso a la Radial ubicado en el entronque con la Ruta No. 103 ubicado en Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia. La estación de peaje estaría ubicada antes de la incorporación hacia la Radial. Así, se les estaría cobrando el peaje a los usuarios que se incorporen a la Radial en este punto y que se dirijan al norte con dirección hacia Heredia.
2. Estación de peaje Santa Rosa Oeste
Esta estación de peaje se localiza en la desincorporación de la Radial ubicada en el entronque con la Ruta No. 103 ubicado en Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia. La estación de peaje estaría ubicada antes de la salida hacia la Ruta No. 103. Así, se les estaría cobrando el peaje a los usuarios que se desincorporen de la Radial en este punto y que se dirijan con dirección hacia La Valencia o hacia Santo Domingo de Heredia. Para ver en detalle de las casetas propuestas en Santa Rosa ver la Figura 55.
3. Estación de peaje Uruca Norte
Esta estación de peaje se localiza en el acceso sur al entronque entre Circunvalación y la Radial Heredia – San José. Así, se les estaría cobrando el peaje a todos los usuarios que provienen del sur y que se pueden dirigir al oeste, este o sur.
4. Estación de peaje Circunvalación Este
Esta estación de peaje se localiza en el acceso este al entronque entre Circunvalación y la Radial Heredia – San José. Así, se les estaría cobrando el peaje a todos los usuarios que provienen del este y que se pueden dirigir al oeste, sur o norte.
5. Estación de peaje León XIII Sur
Esta estación de peaje se localiza en el acceso norte al entronque entre Circunvalación y la Radial Heredia – San José. Así, se les estaría cobrando el peaje a todos los usuarios que provienen del norte y que se pueden dirigir al oeste, este o sur.
6. Estación de peaje Circunvalación Oeste
Esta estación de peaje se localiza en el acceso este al entronque entre Circunvalación y la Radial Heredia – San José. Así, se les estaría cobrando el peaje a todos los usuarios que provienen del oeste y que se pueden dirigir al este, sur o norte.

El establecimiento de las estaciones de peaje aseguran que se les cobre el peaje sólo una vez durante todo su trayecto, ya sea que siga por el trayecto de la Radial hasta la prolongación de la Avenida 7 (Séptima), se dirija hacia el oeste (Uruca), o se dirija hacia el este (Calle Blancos).

Figura 60. Ubicación de estaciones de peaje detallado



Fuente: Elaboración propia

Este sistema, que opera básicamente como sistema abierto, con el apoyo de casetas en los accesos de Santa Rosa, ofrece un bajo costo de instalación y facilidad de operación, ya que el número de casetas es mínimo. Ofrece la ventaja que los usuarios solo pagarán una vez al entrar al sistema formado por la Radial Heredia – San José y la Avenida de Circunvalación, evitando demoras en colas y la molestia de pasar por dos plazas de cobro en un tramo corto.

11.4.2 Número de casetas, y medio de pago

En este apartado se presenta el número de casetas requerido para cada estación de peaje planteada. Se describe también la estrategia que debe seguir el operador con relación a minimizar el número de casetas por estación de peaje con el uso de la tecnología mencionada anteriormente. Se incluye un estimado de los costos de los sistemas de recolección de peaje mencionados.

El número de casetas requerido en cada estación esta directamente relacionado con la tecnología que se utilizará. Esto se debe principalmente a la capacidad en vehículos por hora que el sistema puede proporcionar. Los sistemas de recaudo manual tienen una menor capacidad que los sistemas electrónicos. En el Tabla 47 y en el Tabla 48 se presentan las capacidades para cada sistema de recaudo.

Tabla 47. Capacidad de un sistema de peaje abierto

| Tipo de Carril y Sistema de Recaudo | Capacidad (vph) |
|---|-----------------|
| Sistema de recaudo manual, transacción monetaria, elaboración de recibo, etc. | 350 |
| Sistema empleando operadores con la única tarea de entregar boletos | 500 |
| Sistema automático de monedas (no fichas) | 500 |
| Sistema automático de monedas (en su mayoría fichas) | 650 |
| Sistema mixto, cualquiera de las dos anteriores y un sistema electrónico | 700 |
| Sistema electrónico en una caseta de cobro convencional con barrera | 1,200 |
| Sistema electrónico con carriles exclusivos para este sistema sin barreras | 1,800 |

Fuente: Transportation Research Board, NCHRP Synthesis 194

Tabla 48. Capacidad de un sistema de peaje cerrado

| Sistema de recaudo | Carril de entrada tiempo de servicio (seg) | Capacidad (vph) | Carril de salida tiempo de servicio (seg) | Capacidad (vph) |
|------------------------|--|-----------------|---|-----------------|
| Sistema no electrónico | 6.1 | 590 | 17.6 | 200 |
| Sistema mixto | 4.7 | 760 | 11.5 | 310 |
| Sistema electrónico | 3.3 | 1,090 | 4.9 | 730 |

Fuente: Fukazawa K., K. Naitou, H. Kojima y M. Namiki

Debido a las limitaciones de espacio y a los altos volúmenes que se pronostica que transitará por las estaciones de peaje, es necesario plantear la necesidad de utilizar métodos electrónicos de recaudo para agilizar el cobro de peaje.

Cualquier sistema de cobro de peaje electrónico debe introducirse paulatinamente para su uso, con el fin de que conozcan las ventajas de utilizar este tipo de sistema, y también que el operador adquiera experiencia en este tipo de sistemas. Para que la utilización de medios de pago electrónicos sea efectiva, el operador deberá plantear una logística adecuada, así como llevar a cabo una campaña efectiva de mercado y promoción, para que los usuarios conozcan las ventajas del sistema.

La instalación de casetas con cobro mixto permite tanto el cobro manual como el automático, con una capacidad intermedia entre los dos sistemas. Su aplicación es especialmente importante para la transición entre los dos sistemas, por lo que se considera necesaria la aplicación de este tipo de tecnología. Los cálculos para cada plaza asumen que cierto porcentaje de los usuarios del sistema utilizarán el sistema electrónico.

Con relación a la forma de pago, para el caso de cobro manual se considera la utilización del pago en efectivo o con tarjetas propias de la concesión, que posibilitarían el pre pago de un número fijo de pasos. La utilización de tarjetas es interesante pues ahorra tiempo en la operación de cobro.

Para los casos de las casetas con tecnología de recaudo mixto, se deberá aplicar tecnología de Telepeaje; con una tarjeta de alta frecuencia (Tag) que contiene información codificada del cliente, la cual se detecta a través de un sensor que determina la validez de la tarjeta.

En cualquiera de los casos, se recomienda que el cobro se realice en el momento de la operación, para el caso de utilización de efectivo o prepago, para evitar problemas de cartera morosa. Se considera que el uso de sistemas de prepago en Radial Heredia y Circunvalación puede ser

exitoso basándose en el tipo de usuarios de las vías, que en gran proporción las utilizan para la realización de viajes cotidianos.

En los siguientes párrafos, se describen las necesidades en cuanto a número de casetas para cada plaza de cobro considerando dos escenarios: uno ideal, con utilización de casetas con sistema mixto de recaudo y uno donde sólo se siga utilizando el sistema de recaudo manual existente ahora en Costa Rica.

Se nota que el estimado de las casetas ubicadas sobre Circunvalación son preliminares y se recomienda la realización de los estudios correspondientes para estimar con seguridad la demanda real de esta vía tan importante en el GAM.

1.- Santa Rosa Este y Oeste (sobre accesos a Radial)

Para el inicio de operaciones de la Radial Heredia – San José, se requiere la instalación de 1 (una) caseta de recolección de peaje en cada uno de estos puntos.

El flujo estimado para el año base es de 86 vehículos en la hora de máxima demanda y 230 vehículos para el mismo periodo en el año 2021. Para estos niveles de demanda, la plaza de cobro puede funcionar a lo largo de los 25 años de proyección con una sola caseta de recolección manual. Sin embargo, para mantener la compatibilidad con el restante del sistema, es necesaria la utilización de un sistema mixto, cuando inicie su aplicación en las demás plazas. Si así lo quisiera el concesionario, idealmente se debería utilizar una caseta de cobro manual con otra de cobro mixto finalmente.

2.- León XIII Sur y Uruca Norte (sobre Radial)

Para el inicio de operaciones de la Radial Heredia – San José, se requiere el uso de 3 (tres) casetas de operación manual para el cobro de peaje en la estación ubicada en León XIII. Es importante recordar, que para el año base se considera que todavía no entra en operación el tramo de la Radial Heredia entre Circunvalación y Av. 7.

Tomando en cuenta que el tramo donde se encuentra ubicada la estación Uruca Norte entrará en operación hasta el 2006, según datos proporcionados del MOPT, en este momento, se requerirán 4 casetas de cobro por estación, si éstas tienen sistema de recaudo manual. Es recomendable, sin embargo, que para el año 2006 se dispongan de al menos 2 (dos) casetas de recaudo mixto y las 2 (dos) restantes con recaudo manual para agilizar el cobro de peaje e iniciar el proceso de adaptación de los usuarios al nuevo sistema.

Para el año 2026, si se utiliza solamente un sistema de recaudo manual se requerirán 10 (diez) casetas de cobro por sentido para que estas estaciones funcionen adecuadamente, lo que evidencia la necesidad de tener amplios espacios disponibles para la ubicación de las plazas de peaje, o en su defecto, implementar la utilización de medios más eficientes de cobro.

Para atender la demanda de estas estaciones en el año 2026, se pueden utilizar algunas de las combinaciones tecnológicas:

- 3 casetas de cobro totalmente electrónico y una de cobro mixto, lo que considera una fuerte utilización de medios electrónicos, por lo tanto no es altamente recomendable;
- 5 casetas de cobro mixto
- 2 carriles con cobro manual, 2 con un sistema mixto, y 1 con sistema totalmente electrónico.

A priori, las dos últimas posibilidades son las más recomendables, siendo necesario evaluar en el tiempo la evolución del cobro con medios electrónicos.

Frente a estas consideraciones, desde el diseño inicial de la estación de peaje se debe disponer del espacio necesario para establecer por lo menos 5 (cinco) casetas de cobro en estos dos puntos y prever desde el inicio de operaciones, que el sistema de las casetas deberá poder adaptarse para la operación de un sistema mixto. Con este número de plazas, se atienden las necesidades hasta el 2026, con la configuración manual / mixta propuesta.

3.- Circunvalación Este y Circunvalación Oeste (sobre Circunvalación)

Para la fecha de inicio de operaciones de la Radial Heredia y la Avenida Circunvalación, se requieren 4 casetas con sistema de cobro manual de recaudo en cada estación de peajes. Sin embargo, si se utiliza un sistema de recaudo manual hasta el año 2026, se requerirán 8 (ocho) casetas de cobro para que cada una de estas estaciones funcionen adecuadamente.

Es recomendable, por lo tanto que por lo menos a partir de 2006, fecha prevista para iniciar el funcionamiento del tramo Circunvalación – Avenida 7 de la Radial Heredia, se inicie la utilización del sistema mixto en al menos 2 (dos) de las 4 (cuatro) casetas previstas para este periodo. Con esta configuración (2 manuales + 2 mixtas) se puede atender la demanda satisfactoriamente hasta el año 2016, cuando se hace necesario ampliar el número de casetas de cobro en estas estaciones..

Para atender la demanda pronosticada hasta el año 2026, se puede considerar las siguientes configuraciones tecnológicas:

- 4 (cuatro) estaciones de sistema mixto
- 2 (dos) casetas de recaudo manual, 3 (dos) de recaudo mixto y 1 (una) de recaudo totalmente electrónico.

La conveniencia de aplicar una de estas combinaciones deberá ser evaluada tomando en consideración la evolución del cobro con medios electrónicos.

Frente a estas consideraciones, desde el diseño inicial de la estación de peaje se debe disponer del espacio necesario para establecer por lo menos 6 (seis) casetas de cobro en estos dos puntos y prever desde el inicio de operaciones, que el sistema de las casetas deberá poder adaptarse para la operación de un sistema mixto. Con este número de plazas, se atienden las necesidades hasta el 2026, con la configuración manual / mixta propuesta.

11.4.3 Recomendación de solución tecnológica

Con relación al tipo de tecnología a emplearse, se recomienda la utilización de una solución de rango medio, por los siguientes motivos:

- Desde el punto de vista operativo, cumple con funciones similares a la solución de rango bajo, incluso en la mayoría de los casos las tecnología de detección son muy similares.
- La tecnología utilizada para la construcción de los componentes físicos del sistema es totalmente industrial lo que redundará en una mejora sensible en su presentación y robustez, acrecentando el grado de confianza para el cliente;
- La principal razón por la cual se recomienda la utilización de este rango es por la posibilidad de incorporar el cobro con telepeaje y contar con equipos de IAV. Es importante destacar que si bien el costo del sistema de identificación por carril no es muy alto, los mayores costos están en la gestión integral de toda la solución de telepeaje que incluye puestos de atención al público, campañas publicitarias, negociación con usuarios de otros sistemas, etc.

- Otra virtud de una solución de rango medio es que ésta dispone de medios de pago virtuales muy desarrollados, lo que implica soluciones de acceso con canales de alta velocidad y negociaciones con las redes del sistema financiero. Además, los sistemas operacionales del soporte lógico requieren niveles más altos de seguridad por lo que es recomendable trabajar con Windows NT u opciones UNIX.

Finalmente, el Sistema de Gestión Centralizada está muy desarrollado y permite la gestión unificada de todas las estaciones de peaje en un solo sistema de información con interacciones muy fuertes con las redes del sistema financiero y con la red de gestión de los medios de pago virtuales particulares.

11.4.4 Costos del sistema de peaje

En este apartado se presentan algunos parámetros de costos de inversión inicial y de operación para los sistemas de peaje, con la finalidad de obtener una evaluación preliminar de la diferencia que puede representar la instalación de soluciones de nivel bajo, medio y alto. Los rangos de valores presentados para los diversos componentes son valores medios practicados internacionalmente.

Es importante comentar que en este informe se abordan solamente aspectos relacionados con la inversión en equipos electrónicos de los sistemas de peaje, pero hay otros factores que inciden de forma importante sobre los costos de peaje, como son: los costos de adquisición de terrenos para implantar las casetas, los costos de campañas publicitarias que son indispensables para impulsar nuevas formas de pago como el telepeaje, entre otros.

11.4.4.1 Inversión inicial en el sistema de control de recaudo

El Tabla 49 muestra rangos de precios que se practican internacionalmente para los diversos equipos de los sistemas de peaje. Para cada nivel se presentan los costos de los componentes básicos, que son los mínimos necesarios para la operación en un determinado rango de solución, así como los costos de los equipos adicionales que pueden ser implantados.

Los valores mostrados tienen en cuenta solamente el equipo, sin el costo de la obra civil, ni los costos de adquisición de predios. En el caso del telepeaje, tampoco se están valorando la inversión necesaria en mercadeo y comercialización que se requieren para su utilización. Únicamente incluye el suministro y la instalación del sistema en la estación de peaje en Costa Rica.

Considerando la instalación de un sistema de rango medio con IAV y Telepeaje, se puede evaluar la instalación del sistema en el siguiente rango:

Tabla 49. Costos para instalación de equipos en estaciones de peaje

| Opciones | Solución de bajo rango (US\$) | Solución de rango medio (US\$) | Solución de alto rango (US\$) |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Equipo de Carril | Básico | 23.000 – 60.000 | Más de 100,000 |
| | IAV | No aplica | Más de 20,000 |
| | Telepeaje | No aplica | 30,000 – 50,000 ⁽¹⁾ |
| Equipo de Estación | Básico | 15,000 – 30,000 | Más de 100,000 |
| | Vídeo | 15,000 – 25,000 | Más de 50,000 |
| | Gestión Medios de Pago | 15,000 – 30,000 | Más de 100,000 |
| Gestión Centralizada | Básico | 25,000 – 50,000 | Más de 90,000 |
| | Gestión Medios de Pago | 100,000 – 200,000 | Más de 300,000 |

(1) La implementación de este sistema tiene como prerequisite un número mínimo de usuarios (70,000).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Costos para instalación de equipos en estaciones recomendadas

| Estación de peaje | Equipo | Inversión inicial (US \$) |
|-------------------|----------------------|---------------------------|
| Santa Rosa Este | Equipo de Carril | 100,000 |
| | Equipo de Estación | 60,000 |
| Santa Rosa Oeste | Equipo de Carril | 100,000 |
| | Equipo de Estación | 60,000 |
| León XIII | Equipo de Carril | 210,000 |
| | Equipo de Estación | 60,000 |
| Uruca Norte | Equipo de Carril | 210,000 |
| | Equipo de Estación | 60,000 |
| Sistema | Gestión Centralizada | 250,000 |
| | Total | 1,140,000 |

Fuente: Elaboración propia

Estos costos de instalación son sólo ilustrativos. Un análisis más detallado deberá ser hecho al seleccionar la tecnología deseada. Los costos de instalación dan simplemente un rango muy grueso sobre la inversión necesaria.

11.4.4.2 Costos de operación

El costo de dicha administración depende del tránsito promedio diario de la vía y de la ubicación de las estaciones de peaje, siendo relacionado con el riesgo que implica su operación y el transporte de valores asociado.

Para estaciones de peaje de alto tránsito promedio diario (TPD), como es el caso de la Radial Heredia – San José, y con ubicación dentro del Gran Área Metropolitana del Valle Central, se

podría decir que el costo de la administración de cada una de las estaciones de peaje podría estar en el rango del 7% - 10% del recaudo, considerando sólo recaudo manual.

A este costo se le debe adicionar los gastos que genera la auditoria (o supervisión) del contrato de recaudo. En caso de que se opere con sistema de telepeaje, el manejo de efectivo disminuye y, por lo tanto, estos costos tienden a bajar.

A continuación se presentan algunos de los recursos necesarios y los costos unitarios en los que se incurre para operar las estaciones de peaje. Se puede observar que estos costos no dependen, en su mayoría, del grado de automatización del recaudo en las estaciones de peaje.

Tabla 51. Recursos para la gestión de peajes

| Personal | Número |
|--|-----------------------------|
| Gerente de peaje | 1 |
| Coordinador general | 1 |
| Auxiliares de oficina | Depende del # de estaciones |
| Escoltas | Depende del # de estaciones |
| Conductores | Depende del # de estaciones |
| Vehículos | Depende del # de estaciones |
| Muebles, enseres y equipos oficina | Depende del # de estaciones |
| Armamento | Depende del # de estaciones |
| Seguros (manejo y transporte de valores) | Depende del # de estaciones |

Fuente: Elaboración propia

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el marco del estudio de factibilidad técnica para la Concesión de Obra con Servicio Público del Proyecto Radial Heredia – San José, se realizaron estudios que permitieron estimar los niveles de demanda de la vía, identificando la ocupación de cada tramo vial y entronque. Con base en esta información, se posibilita:

- La evaluación de las características físicas necesarias para ofrecer al usuario un nivel de servicio adecuado a lo largo del horizonte de proyecto.
- El análisis de las necesidades generales de sistemas de peaje y recomendación en cuanto a la disposición de plazas de cobro y niveles tecnológicos a emplear.
- La estimación de los beneficios de los usuarios de la nueva vía, insumo fundamental para la evaluación financiera del proyecto.
- El análisis del nivel de ingresos que se estima recaudar para diferentes tarifas de peaje propuestas, insumo para la evaluación financiera del proyecto.

Los estudios de demanda se basaron en un amplio proceso de recopilación de información, realizado a partir de información documental y de una importante cantidad de estudios realizados directamente en campo: levantamiento de características físicas y operativas de la red vial, aforos vehiculares, encuestas de origen destino y de preferencia declarada.

La siguiente etapa constó del análisis de información y conformación de modelos de oferta y demanda de transporte, tomando en consideración los usuarios de transporte privado, autobuses foráneos y camiones de carga. No se consideró la operación de transporte público sobre la vía, en una primera instancia.

Los modelos de oferta y demanda se integran en la etapa de asignación, en la cual a través de un modelo de equilibrio se estiman los flujos vehiculares que se generan sobre la vía al realizarse los viajes entre los diversos pares de origen destino. La calibración del modelo consta de lograr que el modelo matemático de asignación reproduzca los volúmenes vehiculares y los tiempos de viaje observados directamente en campo. Con el modelo calibrado, se plantean escenarios de pronóstico, que permiten evaluar escenarios futuros de operación del sistema de transporte.

La metodología empleada en el estudio, que consta básicamente de las etapas comentadas en los párrafos anteriores, está fundamentada en principios de planeación de transporte aceptados internacionalmente y respaldada por su aplicación exitosa en un número muy importante de proyectos realizados por el Consorcio.

A partir de la aplicación de la metodología expuesta, los principales resultados obtenidos en el estudio son:

Tabla 52. Resultados de estimación de demanda

| | Año de Análisis | | | | |
|--|-----------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2006 | 2011 | 2016 | 2021 | 2026 |
| TDPA | 13,932 | 17,079 | 23,196 | 31,218 | 40,963 |
| Tránsito Tramo más Cargado (Anillo Radial / Circunvalación) | 1,062 | 1,346 | 1,721 | 2,323 | 3,034 |
| Ingreso Bruto Anual de la Estaciones de Peaje en dólares americanos ⁽²⁾ | 12,043,133 | 14,986,812 | 20,521,545 | 27,675,428 | 36,473,069 |

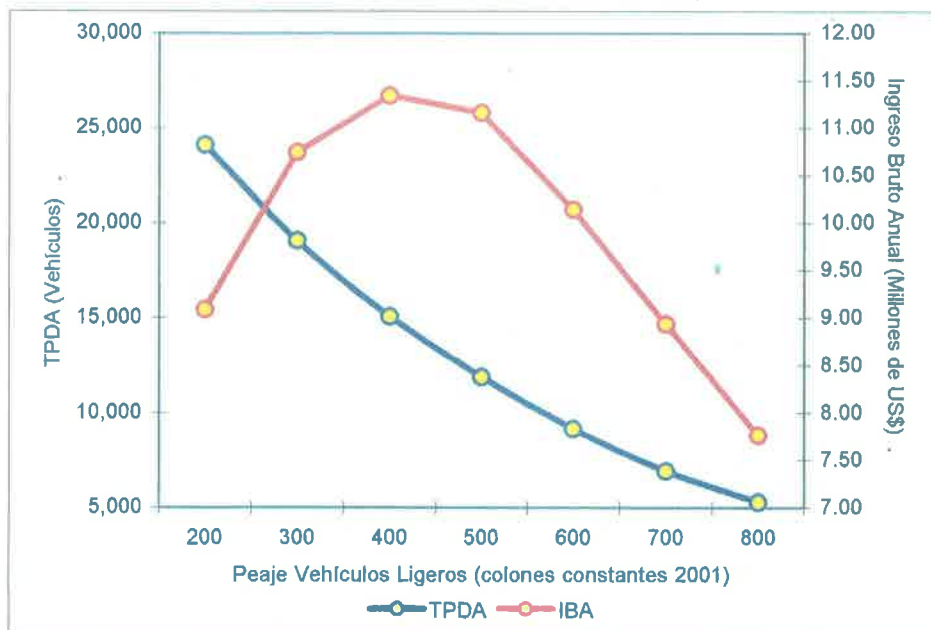
Notas: ⁽¹⁾ TCMA: Tasa de Crecimiento Medio Anual 2001 a 2026; tomar en consideración que en el año 2006 se considera que se completa el proyecto de Radial Heredia hasta la Av. Séptima.

(2) Estaciones de Peaje: Santa Rosa Este, Santa Rosa Oeste, León XIII Sur y Uruca Norte.
Fuente: Elaboración propia

El escenario base se estimó con una tarifa de 400 colones, pues corresponde a la tarifa de peaje que maximiza ingresos al operador de la vía.

Por su relevancia en el análisis, se vuelve a presentar la gráfica en la cual se estima la sensibilidad de la demanda (y consecuentemente de los ingresos) a la variación en el nivel tarifario del sistema Radial Heredia – Circunvalación. Se comenta que los ingresos presentados corresponden a los que se estima recaudar en las estaciones de peaje ubicadas sobre la Radial Heredia, pero no sobre circunvalación.

Figura 61. Sensibilidad de la demanda (año base 2001)



IBA = Ingreso bruto anual
Fuente: Elaboración propia

La gráfica muestra que el máximo ingresos en el sistema se obtiene para una tarifa total (incluyendo impuestos de 400 colones de 2001. Valores más reducidos o elevados conllevarían a una menor captación de ingresos, aun que la variación entre los ingresos recaudados con tarifas entre 300 y 500 colones es reducida.

Enseguida, los datos del modelo de transporte fueron utilizados para estimar los flujos en los diversos tramos y entronques de la Radial Heredia, con el objetivo de realizar recomendaciones sobre el diseño de la vía, visando mantener un nivel de servicio adecuado (nivel C) durante todo el horizonte de estudio.

Los análisis de capacidad fueron realizados para cada uno de los tramos de la Radial, considerando los volúmenes horarios esperados en hora de máxima demanda (vehículos mixtos / hora / sentido) y el porcentaje de vehículos pesados, para el escenario del año 2026. Se toma como base de diseño el escenario en el cual se incluye la prolongación hacia la Avenida Séptima, ya que en este escenario se presentan flujos críticos con los cuales se realiza el diseño. El objetivo de realizar el análisis de capacidad con estos datos es representar la situación más crítica para el proyecto.

Como resultado de los análisis de capacidad se realizan las recomendaciones de número de carriles por tramo, para mantener como mínimo en nivel de operación C hasta el 2026:

Tabla 53. Resultados de análisis de capacidad por tramo hora pico AM (2026)

| Tramo | Descripción | Volumen | Carriles |
|-------|------------------------------------|---------|----------|
| 1 | San Francisco – Lagos | 1,412 | 2 |
| 2 | Lagos – Santa Rosa | 1,724 | 2 |
| 3 | Santa Rosa – Anillo Periférico | 2,220 | 2 |
| 4 | Anillo Periférico – Circunvalación | 2,220 | 3 |
| 5 | Circunvalación – Avenida Séptima | 1,397 | 2 |
| 6 | Circunvalación – Radial Uruca | 2,055 | 3 |
| 7 | Circunvalación – Braulio Carrillo | 2,080 | 3 |
| 8 | Braulio Carrillo – Calle Blancos | 1,223 | 2 |

Fuente: Elaboración propia

La siguiente etapa consistió en el análisis de los 4 (cuatro) entronques de la vía, a saber:

1. Entronque de Radial con Ruta No. 3 en San Francisco
2. Entronque de Radial con Ruta No.3 en Lagos (Price Smart)
3. Entronque de Radial con Ruta No. 103 en Santa Rosa
4. Entronque de Radial con Avenida de Circunvalación
5. Entronque de Radial con Autopista Braulio Carrillo

Se realizó un diseño preliminar para cada uno de los entronques, y se realizó un análisis de capacidad, que permitió indicar en primera instancia el número de carriles necesarios para la realización de cada movimiento de incorporación y desincorporación a la Radial Heredia. Con la realización del prediseño de cada intersección, se realizará una nueva corrida de los análisis de capacidad, con ajustes en la geometría, para verificar que se garantice la buena operación de las mismas.

Con relación al sistema de peajes y la ubicación de las casetas se tomaron como base los siguientes principios:

- Facilidad de operación y costos reducidos.
- Eficiencia en la operación de las casetas, para la atención de un número elevado de usuarios;
- Eficiencia en la utilización de los espacios disponibles para la instalación de plazas de cobro;
- Claridad del sistema para el usuario;
- Minimización de los tiempos perdidos en colas para el cobro de los peajes,
- Disminución el impacto psicológico del pago de los peajes, evitando que se realice más de una vez por viaje realizado;

Con base en estos principios, se realizaron las siguientes recomendaciones:

- Establecimiento de 6 (seis) estaciones de peaje como se observa en la figura siguiente.
- Debido a las limitaciones de espacio y a los altos volúmenes que se pronostica transitará por las estaciones de peaje, es necesario plantear la necesidad de utilizar métodos electrónicos de recaudo para agilizar el cobro de peaje.

- Se debe introducir paulatinamente en los usuarios cualquier sistema electrónico, con el fin de que conozcan las ventajas de utilizarlo y también que el operador esté adquiriendo experiencia en este tipo de sistemas hasta ahora no utilizado en Costa Rica.
- El número de carriles de cobro recomendados para el periodo de análisis (2001 a 2026) se muestra en la tabla a continuación. La estimación del número de casetas por estación con un sistema mixto, asume que cierto porcentaje de los usuarios del sistema utilizarán el sistema electrónico. Este supuesto implica que el operador llevará una campaña efectiva de mercado y promoción.
- Con relación a la tecnología, se recomienda la instalación de una solución de rango medio, que permite la incorporación de IAV y telepeaje a lo largo del tiempo, además de proporcionar niveles de seguridad más elevados en las operaciones.

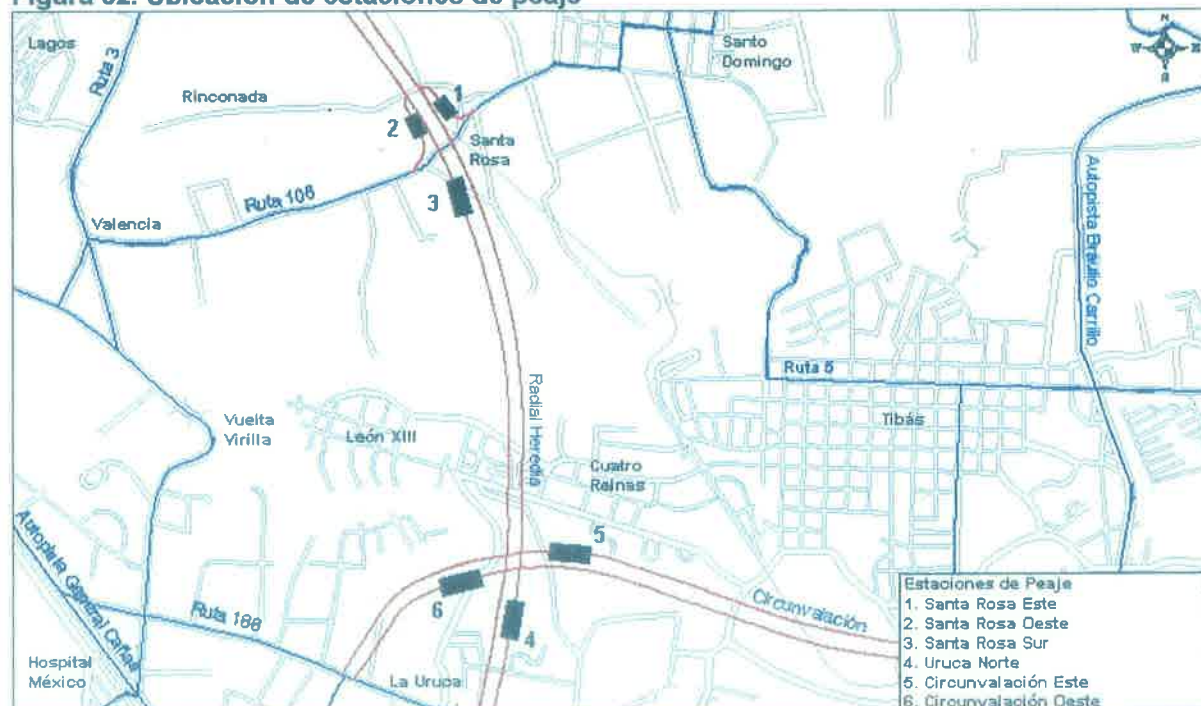
El siguiente cuadro muestra el número de casetas requeridas ante la demanda estimada para el año 2026. Primero se muestra las casetas que se necesitan si se decide utilizar solo un sistema de recaudo manual, después se presenta el sistema recomendado con el objeto de dar mayor fluidez a la estación de peaje, disminuir el espacio requerido para dicha estación e introducir tecnologías actuales de cobro de peaje.

Tabla 54. Número de casetas requeridas

| Estación de peaje | Recaudo Manual | Sistema Recomendado Manual – Mixto – Electrónico |
|-------------------|----------------|---|
| Santa Rosa Este | 2 | 0 – 1 – 0 |
| Santa Rosa Oeste | 2 | 0 – 1 – 0 |
| León XIII | 10 | 2 – 2 – 1 |
| Uruca Norte | 10 | 2 – 2 – 1 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Ubicación de estaciones de peaje



Fuente: Elaboración propia