



INTRACA

Marzo, 2022

Informe Estudio de Evaluación de la Red Vial del Cantón de Belén y Propuestas de Mejora

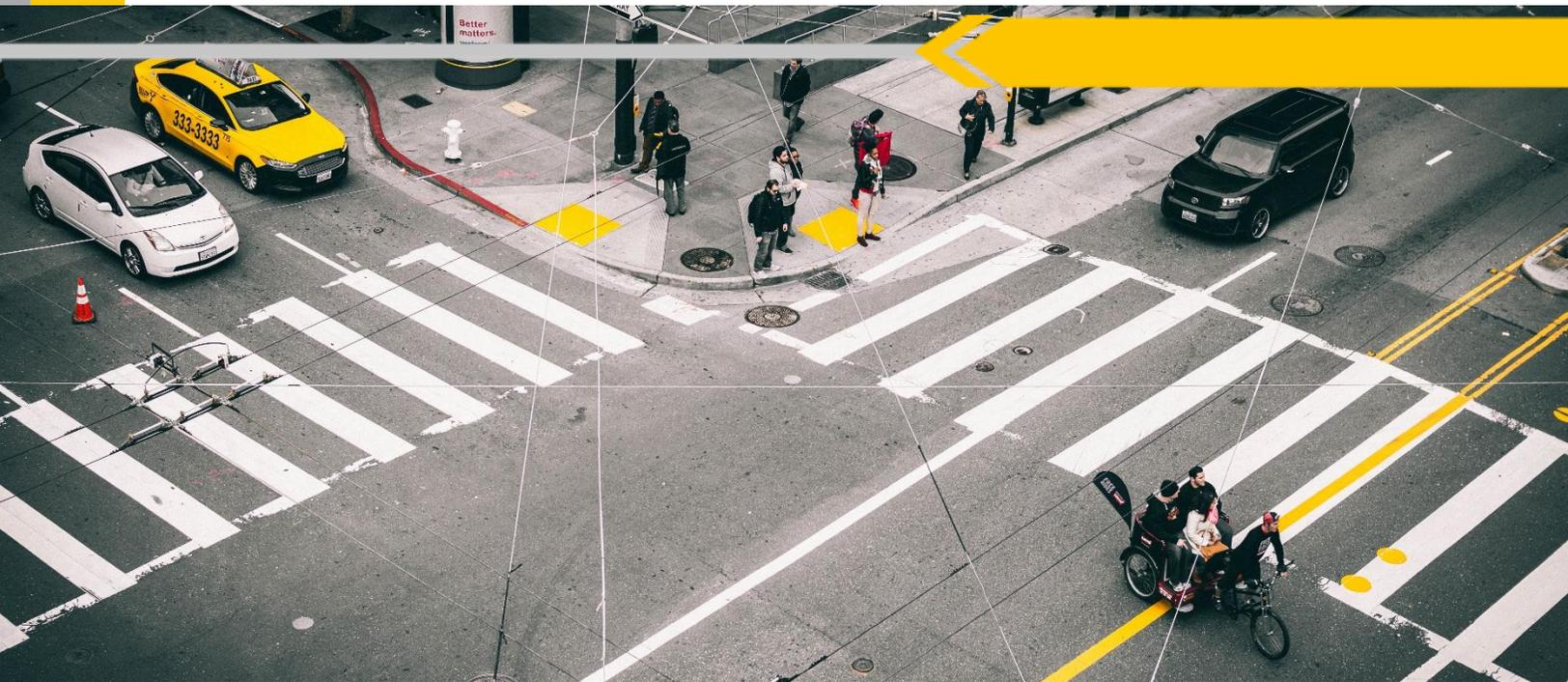
Nº Informe: INTRACA-EIF-2022-008

Cliente: Municipalidad de Belén

Profesional responsable: Ing. Jorge Arturo Carmona Chaves, MPA

Ing. Daniel Alonso Chacón Oviedo, MBA

Analista: Ing. Daniela Segura Segura



Página en blanco a propósito

Índice de contenidos

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Objetivos	2
1.2.	Alcance	2
1.3.	Recuentos Vehiculares	3
2.	METODOLOGÍA	6
2.1.	Proyección	6
2.2.	Análisis	7
3.	DESARROLLO	9
3.1.	Caracterización del cantón de Belén	9
3.2.	Construcción y evaluación del escenario base	18
3.3.	Calibración y Modelización de escenarios base	23
3.4	Propuesta de mejora	37
3.5	Modelización con medidas de mitigación	39
4	CONCLUSIONES	57
5	RECOMENDACIONES	60
6	BIBLIOGRAFÍA	61
7	ANEXOS	62

INFORME TÉCNICO

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cantón de Belén presenta problemas de congestión debido al crecimiento vehicular que se ha presentado en todo el país. La problemática se intensifica, teniendo en cuenta la cercanía del cantón con focos poblacionales sumamente importantes como lo son los cantones de Heredia, Alajuela y San José, así como por su cercanía con la Ruta Nacional No. 1 (Autopista General Cañas), la cual es una de las más transitadas e importantes carreteras del país.

La Municipalidad de Belén, consciente de su responsabilidad en el desarrollo vial del sector, se encuentra desarrollando un análisis de las condiciones de su red vial, con el fin de determinar las principales problemáticas que experimenta y por consecuencia los usuarios que utilizan dicha red.

Con el fin de cuantificar la problemática vial y proponer estrategias y soluciones en beneficio del cantón, se realiza el presente informe técnico que determinará los indicadores de desempeño a nivel estratégico, así como recomendaciones de propuestas de cambios viales que impliquen menores tiempos de espera y longitudes de cola, que deriven en mejoras en el comportamiento de los flujos de tránsito de la red.

Se recopilaron aforos en intersecciones dentro del cantón de Belén, a partir de la información suministrada por la Municipalidad de Belén. Dicha información fue procesada con el fin de definir las horas pico de la mañana y tarde para días típicos entre semana según se detalla más adelante en la metodología de trabajo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Modelar la red vial del casco central de Belén, analizar el estado actual de la red y generar una propuesta de reordenamiento vial que mejore la funcionalidad vial del cantón y mantenga las tendencias públicas en cuanto a la priorización del transporte público y seguridad de los usuarios vulnerables.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Recopilar y procesar los aforos vehiculares clasificados en distintas intersecciones del cantón de Belén para establecer la hora pico de la mañana y de la tarde a nivel de red.
- Modelar la red vial de Belén en programas computacionales especializados para determinar los indicadores de desempeño de la red vial del cantón.
- Modelar propuestas definidas por la Municipalidad de Belén que permitan mejorar los indicadores de desempeño de la red vial de Belén.

1.2. Alcance

Elaborar un análisis funcional a nivel estratégico de la red por medio del programa computacional PTV VISUM. El análisis inicial se realizó con base en los aforos realizados por la Municipalidad de Belén en los años 2013 y 2014 con el objetivo de calibrar el modelo en una primera etapa. Sin embargo, este informe se enfoca en la realización de una segunda etapa, donde se procedió a actualizar los conteos mediante obtención de aforos en campo durante el año 2021 para recalibrar el modelo. El objetivo de dicho análisis es evaluar las condiciones actuales de la red (año base 2021) y generar dos horizontes temporales para los años 2023 y 2031 donde se puedan evaluar las condiciones de la red. El PTV VISUM permite analizar fácilmente medidas de mitigación o de mejora a partir de propuestas que se realicen con base en el análisis de los puntos o zonas conflictivas identificadas en el modelo de situación actual.

Los estudios elaborados en el programa computacional PTV VISUM, son necesarios debido la importancia y complejidad de la red vial del cantón de Belén y son un importante insumo para determinar conflictos a nivel

macro, es decir, debido a la distribución de flujos a lo largo de la red vial del cantón. Los análisis estratégicos, obtenidos a partir de este programa, se realizaron en conjunto con la empresa argentina Ingeniería en Relevamientos Viales S.A. (IRV).

Dentro de las características y ventajas principales que brinda PTV VISUM 2021 se encuentran:

- Permite calibrar los aforos vehiculares obtenidos en campo considerando que existen limitaciones en la metodología empleada para realizar los conteos, como la realización de estos únicamente en días típicos, que parte de los conteos se realizan en días distintos, entre otros.
- Realiza un análisis estratégico global del cantón, en donde se evalúan indicadores como magnitud de los flujos vehiculares, relación volumen/capacidad, tiempos de viaje para la hora pico de la red, entre otros.
- Evalúa variaciones en los flujos vehiculares a partir de diferentes propuestas de cambios viales, esto con el objetivo de verificar que la red opere de manera adecuada según los nuevos flujos esperados dentro del área de estudio.

Es importante mencionar que la contratación no incluía el análisis para horarios de sábados y domingos, por lo que las propuestas de mejoramiento se limitan a los días entre semana.

1.3. Recuentos Vehiculares

Inicialmente para una primera etapa, se utilizaron conteos suministrados por la Municipalidad de Belén realizados en los años 2013 y 2014, de forma tal que se logró estimar y conocer cómo es el flujo vehicular de la zona. Los pasos que se siguieron son:

- Calibrar el modelo con base en los aforos suministrados por la Municipalidad de Belén que fueron realizados en los años 2013 y 2014.
- Proyectar los volúmenes de los años 2013 al 2014 suministrados por la Municipalidad de Belén al año 2020 bajo condiciones típicas sin el efecto generado por la Pandemia del Covid-19. Posteriormente, al contar en algunas intersecciones con conteos de 24 horas, se seleccionaron

los volúmenes en los horarios de 06:00 am a 09:00 am y de 03:30 pm a 06:30 pm para realizar los análisis de los periodos de la mañana y tarde respectivamente. Los conteos estaban clasificados en vehículos livianos, pesados y buses.

- Para la proyección de las intersecciones, se calculó el factor de crecimiento basado en los datos históricos de Tránsito Promedio Diario (TPD) facilitados por la Dirección de Planificación Sectorial, esto para las estaciones más representativas e influyentes en la red vial del cantón de Belén.

En la Figura 1 se muestran geográficamente las intersecciones utilizadas para la construcción de la red vial del cantón de Belén.

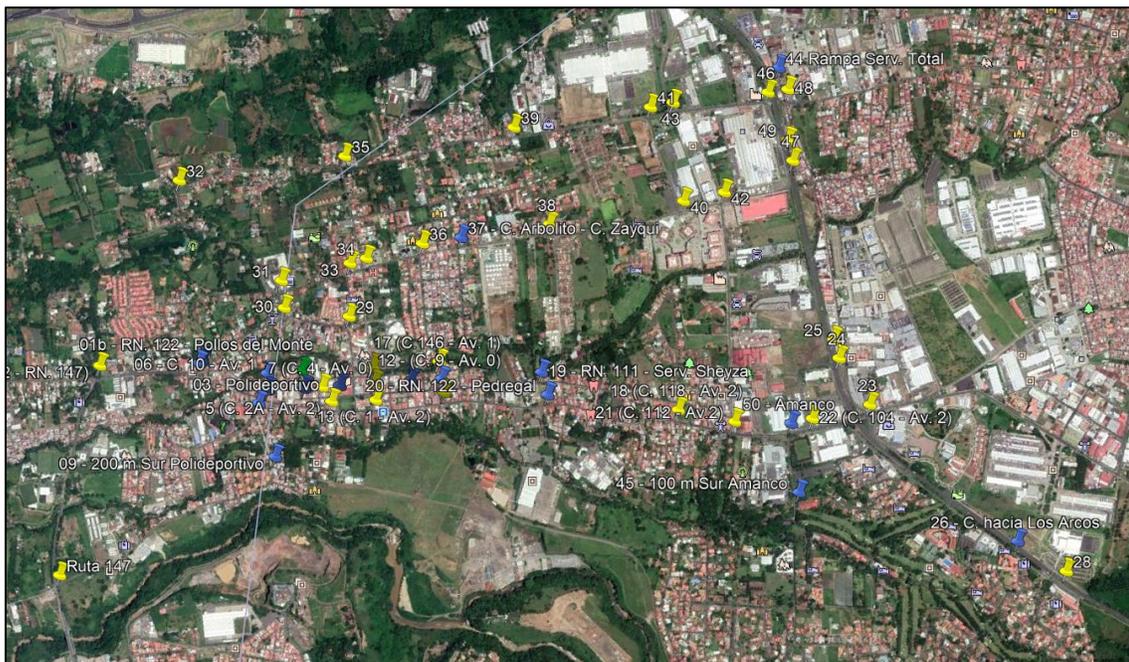


Figura 1. Intersecciones analizadas del cantón de Belén, año 2013-2014
Fuente: Elaboración propia

En una segunda etapa en el año 2021, se procedió con la actualización de los volúmenes vehiculares a partir de los datos obtenidos en campo. Estos nuevos puestos de relevamientos que están representados por 23 puestos de conteos y 10 de encuestas Origen-Destino (que se analizan en el punto 3.1.2 Elaboración de matriz Origen-

Destino) permitió recalibrar el modelo para poder generar los resultados de escenarios que se muestran más adelante. Los puestos de relevamiento se observan en la siguiente Figura 2.

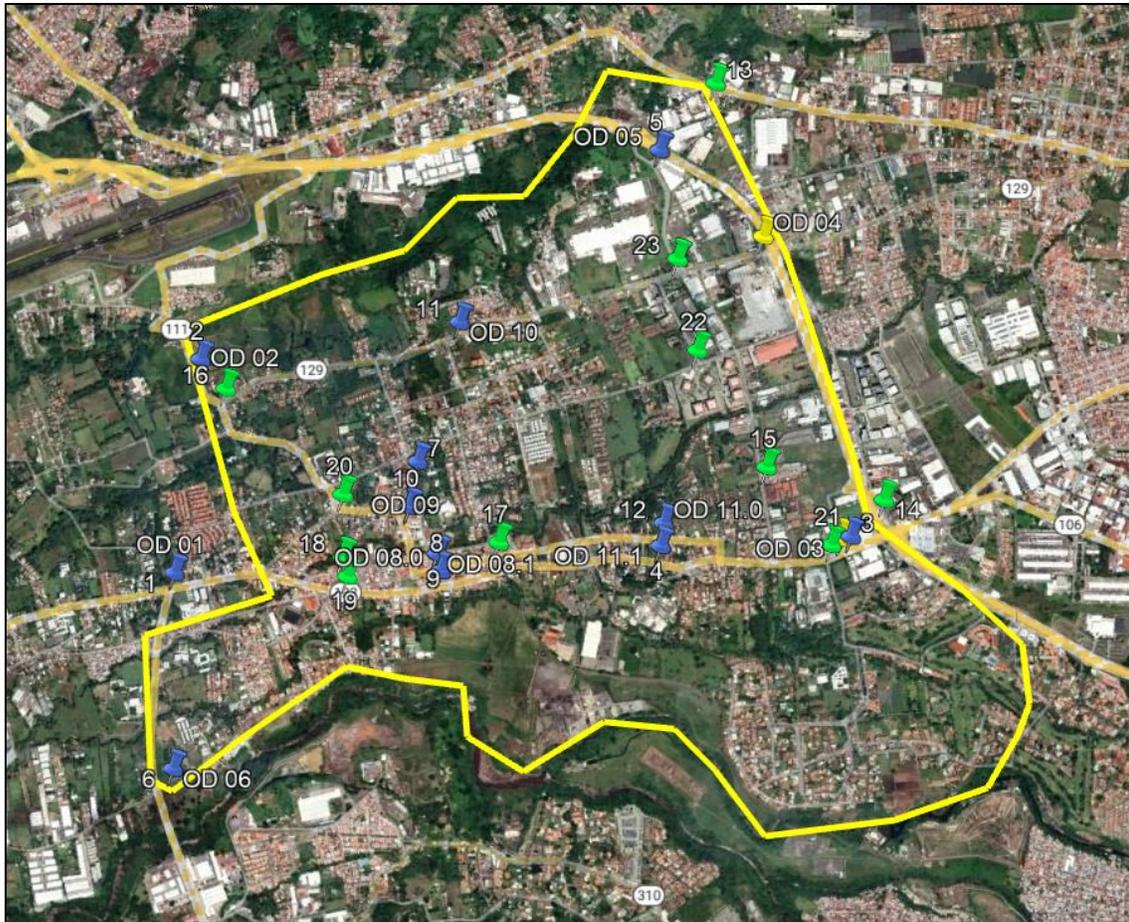


Figura 2. Intersecciones analizadas del cantón de Belén, año 2021.
Fuente: Elaboración propia

Para el análisis estratégico de la red comprendida dentro de la zona de análisis del cantón de Belén, se estableció una hora pico global independiente de la hora pico individual de cada intersección. La hora pico de la red se define como la hora en que se experimenta la mayor demanda de vehículos dentro de la zona de análisis.

Cabe destacar que durante el procesamiento de toda la demanda recibida se procedió a representar la mayoría de la información en una plataforma GIS para que los datos pudieran ser observados por medio de capas totalmente georreferenciadas, las cuales permitieran ser importadas al programa PTV VISUM 2021. Atributos

como cantidades de carriles efectivos, tipos de control en intersecciones, velocidades permitidas dentro de la red vial entre otros, fueron transformados de formato PDF, DWG, KMZ a GIS para que los mismos sirvieran como insumo esencial para realizar la modelación de la red en el programa de macro-simulación.

2. METODOLOGÍA

2.1. Proyección

Para el cálculo de las proyecciones vehiculares en los dos horizontes temporales abordados, en primer lugar, se analizó a partir de la construcción de la curva logística con la información de los volúmenes vehiculares para las rutas nacionales que conforman el área de estudio del cantón de Belén. Con esta metodología se obtuvieron factores de crecimiento, los cuales se analizaron y aplicaron a los aforos del año 2021 según correspondía.

Con base en lo anterior, las curvas logísticas se construyeron a partir de los conteos históricos suministrados por la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT, se consultaron las siguientes estaciones de conteo:

1. Sección de Control 40130, Ruta Nacional No. 111.
2. Sección de Control 40140, Ruta Nacional No. 111
3. Sección de Control 40700, Ruta Nacional No. 129, Estación 766
4. Sección de Control 40700, Ruta Nacional No. 129, Estación 767
5. Sección de Control 40370, Ruta Nacional No. 122

No obstante, para la proyección de la matriz Origen-Destino, la cual se mencionará más adelante y fue la base de la modelación en su segunda fase, se utilizaron dos metodologías. Para los vehículos pasantes se aplicó el factor de crecimiento a partir del análisis de las curvas logísticas mencionadas previamente, para los años 2023 y 2031. Respecto a los viajes internos se identificaron las zonas disponibles para nuevos proyectos de acuerdo con el Mapa Oficial de Zonificación, estas se muestran en la Figura 3. La proyección se realizó a partir de las tasas de generación y atracción de proyectos estimados en el futuro por parte de la Municipalidad.

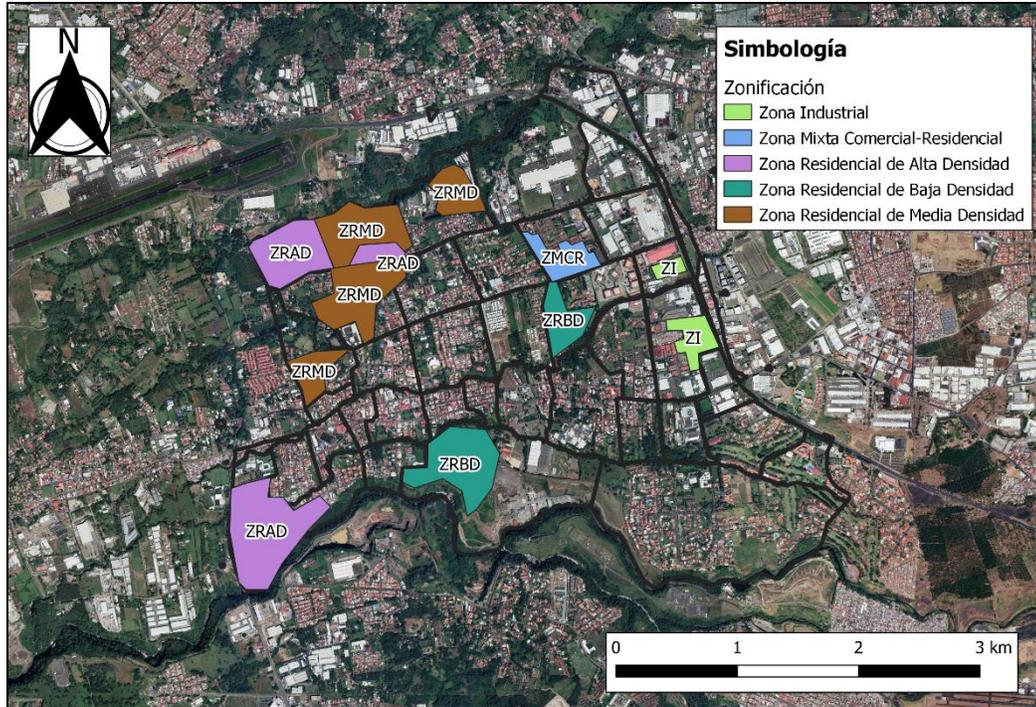


Figura 3. Zonas disponibles para nuevos proyectos
Fuente: Elaboración propia

2.2. Análisis

Una vez recopilada la información requerida, se procedió a actualizar la red en el programa PTV VISUM 2021 para determinar los indicadores de desempeño..

Con el uso del programa PTV VISUM 2021, se planteó actualizar el modelo para la evaluación estratégica de la red vial del cantón de Belén con el fin de determinar la condición actual (año 2021) en la que se encuentra operando la red. Es importante mencionar que este programa es una herramienta sumamente importante para evaluar propuestas y recomendaciones de mejora que se vayan a analizar en la zona debido a que el mismo puede representar los cambios planteados en la red vial y así poder visualizarlos por medio de iteraciones de asignación dinámicas de tránsito y conocer cuál es el comportamiento del usuario en la red una vez instaladas las modificaciones.

A partir de los resultados obtenidos de la situación actual año 2021, considerando los aforos obtenidos en campo, para los escenarios futuros 2023 y 2031, se analizaron y plantearon propuestas de mejora para la red a nivel estratégico que permitieron una mejor distribución y orientación de los flujos existentes en el cantón de Belén. Se consideraron dentro de las propuestas: políticas de pacificación, peatonización y descentralización de los flujos viales de paso del cantón impulsadas por el gobierno local.

Es importante mencionar que los modelos de análisis estratégico (PTV VISUM 2021) se realizaron para la hora pico de la red tanto para el periodo matutino como vespertino. Los análisis realizados evalúan, de manera integral, las condiciones actuales de la red y permiten identificar las principales problemáticas existentes en el cantón y los sectores a intervenir.

3. DESARROLLO

3.1. Caracterización del cantón de Belén

El procesamiento de la información de la zona de estudio permite analizar las características funcionales y operacionales del área de estudio de manera más sencilla; los cruces de información brindan ideas claras del comportamiento de la red vial y sus proyecciones futuras.

3.1.1. Caracterización de la red vial y área de estudio

Con el análisis y procesamiento de la información recopilada se conocen parámetros fundamentales de la red vial del área de estudio. El área de estudio tiene una extensión aproximada de 12.15 km² y abarca 3 distritos del cantón de Belén. El distrito con mayor impacto es el de San Antonio, en el cual se ubican las áreas comerciales más importantes del cantón, la estación del tren y es considerada un área residencial de alta densidad. En la Figura 4 se muestra el plano de zonificación y usos del suelo del distrito de Belén.

Se observa cómo, dentro del distrito de San Antonio, las mayores concentraciones de usos de suelo se categorizan en ZRAD (Zona Residencial de Alta Densidad) de color turquesa, ZRMD (Zona Residencial de Media Densidad) de color verde y ZCCE (Zona Comercial y Control Especial) de color rosado, las cuales son zonas que cuentan con un volumen importante de habitantes junto con áreas que permiten la oferta de múltiples e importantes servicios en el cantón.

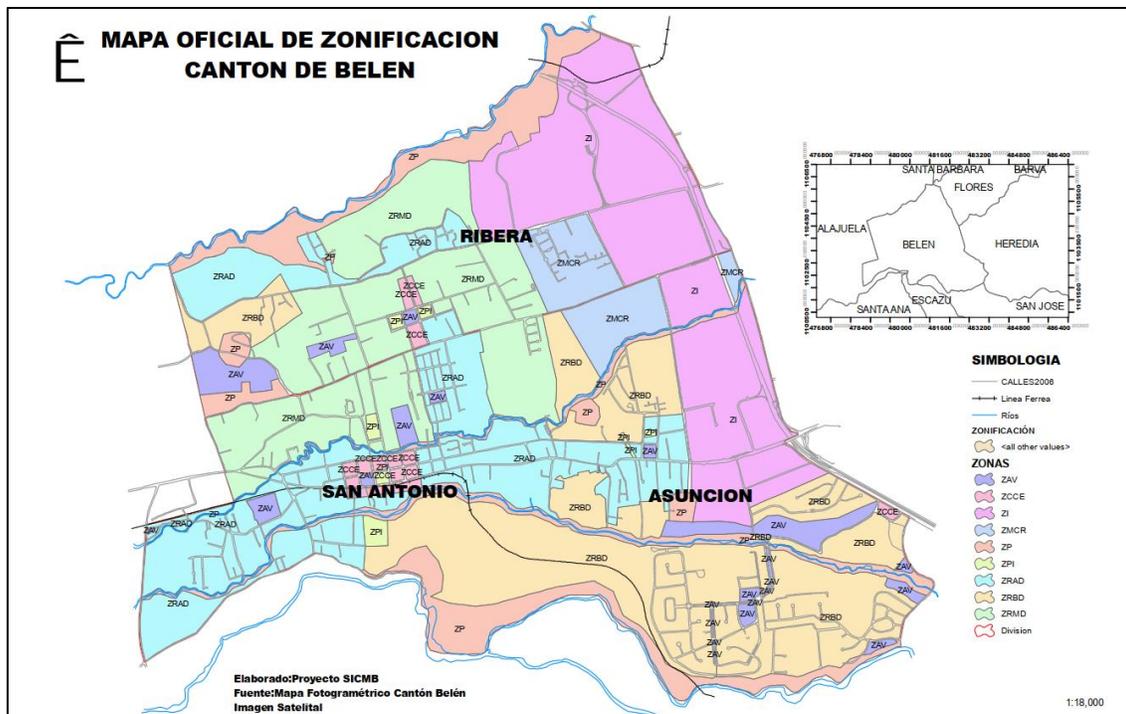


Figura 4. Zonificación y usos del suelo del distrito de Belén
Fuente: Municipalidad de Belén

En cuanto a servicios se refiere, nos compete mayormente la oferta de transporte público existente dentro del área de estudio. Se observa que el cuadrante urbano del distrito de Belén posee la mayor cantidad de rutas; este sector funciona como un centro de interconexión de personas que se originan y se destinan hacia esta zona y zonas aledañas. En la Figura 5 se observa la red de transporte público existente en el área de estudio.



Figura 5. Red de Transporte Público del Área de Estudio
Fuente: Elaboración propia

El área urbana de mayor densidad comercial y residencial del distrito de San Antonio atiende la mayor cantidad de oferta de transporte público, demostrando cómo se reproduce el comportamiento cotidiano de los movimientos de las grandes masas de personas que realizan sus viajes por motivos de trabajo y adquisición de bienes y servicios. Es importante mencionar que el distrito de San Antonio se convierte en el principal centro de trasbordo de la zona al sumar a lo anterior la presencia de la Estación del Tren de Belén. La Estación del Tren de Belén es parte fundamental en el comportamiento cotidiano de los habitantes del cantón por ser este uno de los principales medios de transporte público que permite comunicar el cantón con otros cantones de gran importancia comercial y que brindan una importante oferta de servicios como lo son los cantones de San José y Curridabat.

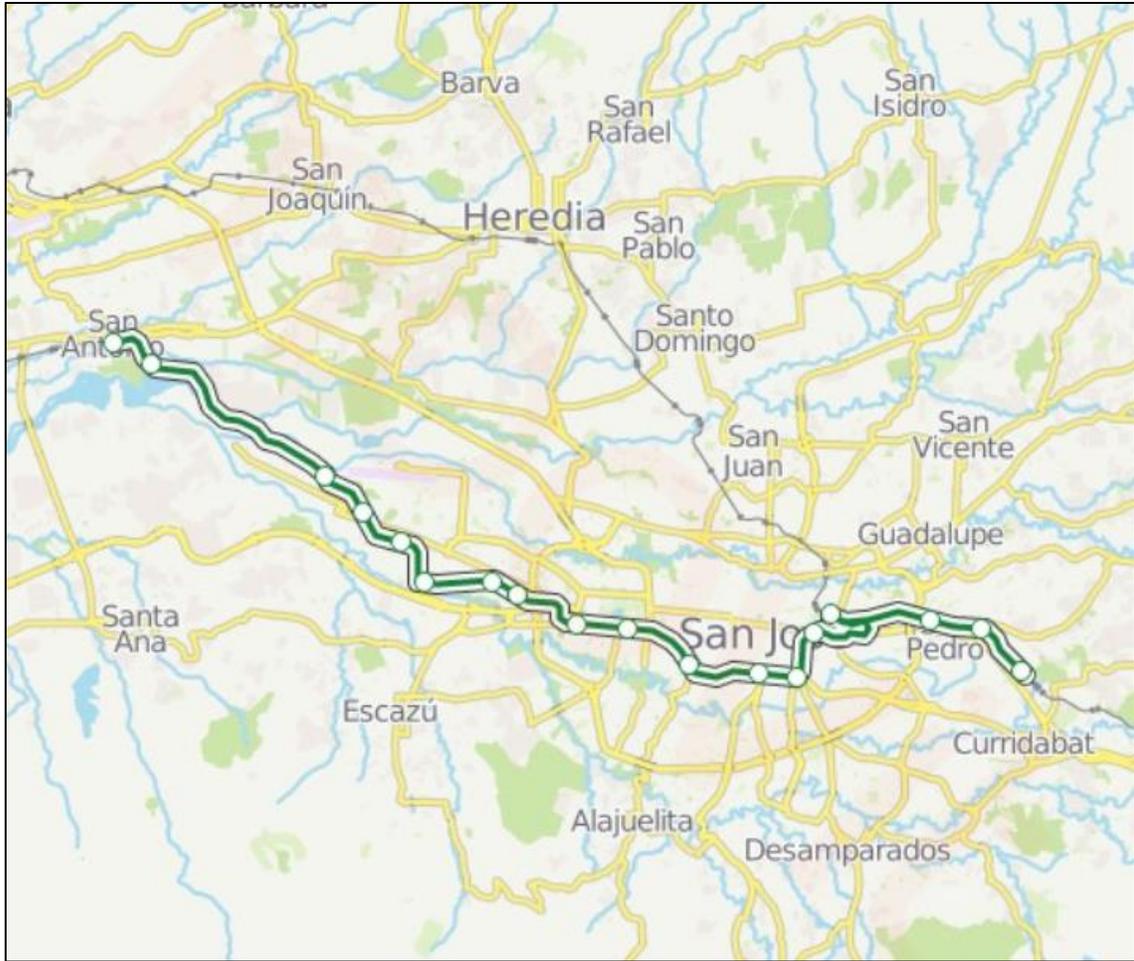


Figura 6. Ruta del Tren Interurbano (Belén-Pavas-Curridabat)
Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la red vial, se observa que el área de estudio definida por el cantón de Belén se encuentra atravesada por las Rutas Nacionales No. 111, 122, 129, y las rutas de travesía 40711, 40713 y 40712; rutas que corresponden a las principales vías distribuidoras de la red vial estudiada. Existe también la influencia de la Ruta Nacional No. 1 que limita el cantón de Belén con el cantón de Flores y corresponde a una de las principales vías de Costa Rica.

La red también posee vías con características de distribuidoras secundarias, las cuales ayudan a conectar los viajes provenientes de las vías locales hacia las vías distribuidoras principales y viceversa. Sobre las vías distribuidoras locales se dan grandes cantidades de usos de suelo de tipo comercial, industrial y residencial lo

que conlleva a que en algunas secciones se puedan apreciar menores velocidades dependiendo de la densificación comercial que se encuentre adyacente a estas vías y a la cantidad de controles semaforizados que se puedan encontrar. En la Figura 7 se muestra un plano con la composición y jerarquización de la red vial del área de estudio.

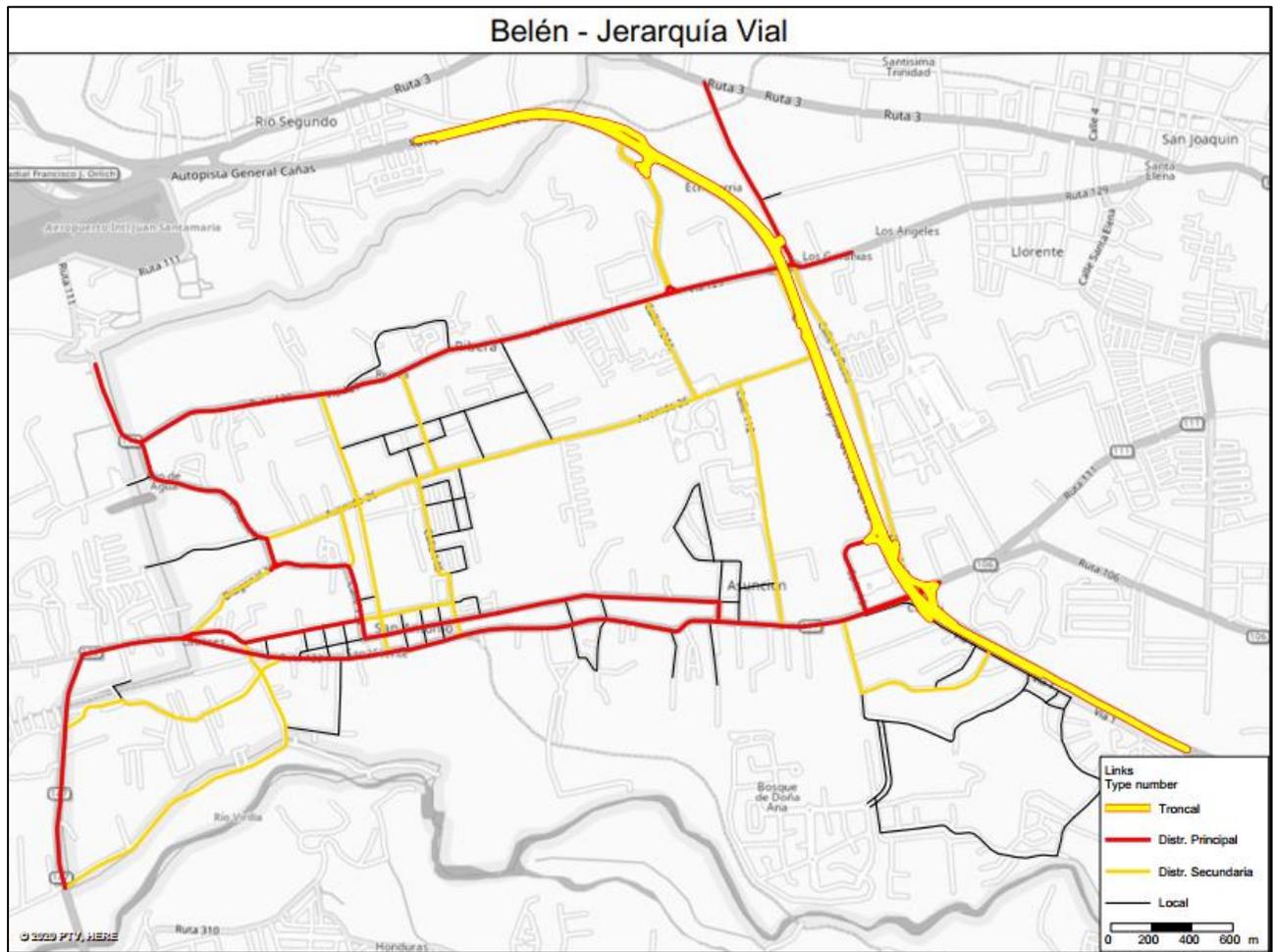


Figura 7. Jerarquía de la red vial del área de estudio
Fuente: IRV S.A.

Las velocidades de flujo libre planteadas dentro del área de estudio varían en algunos casos dependiendo de la jerarquía propiamente dicha de los trazados viales, así como por los usos del suelo adyacentes a la misma y a

las geometrías cambiantes de estos ejes, por esta razón se procedió a utilizar las tipologías mostradas en la imagen anterior y que derivan en velocidades de flujo libre mostradas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tipologías de vías utilizadas en la modelación

Grupo	Subgrupo	Código	Velocidad Km/h	Capacidad Veh/h
Troncal	Autopistas	11	90	2250
Troncal	Ramas	12	40	800
Distribuidora Principal	Semaforizada	20	55	1000
Distribuidora Principal	No Semaforizada	21	55	800
Distribuidora Principal	Ruta 1+1	22	55	1000
Distribuidora Secundaria	Acceso Semaforizado	30	45	810
Distribuidora Secundaria	Acceso no Semaforizado	31	45	720
Local	Local con TP	40	25	600
Local	Local sin TP	41	20	500

Además, también se procedió a realizar un estudio de fuentes de información en línea que apoyan los levamientos de campo y ayudan a establecer una idea base de las apreciaciones de tráfico que transmiten los usuarios a partir de plataformas como Google Maps. En las siguientes figuras, se muestran los datos gráficos aportados por esta plataforma para los periodos de la mañana y tarde para un día típico entre semana.

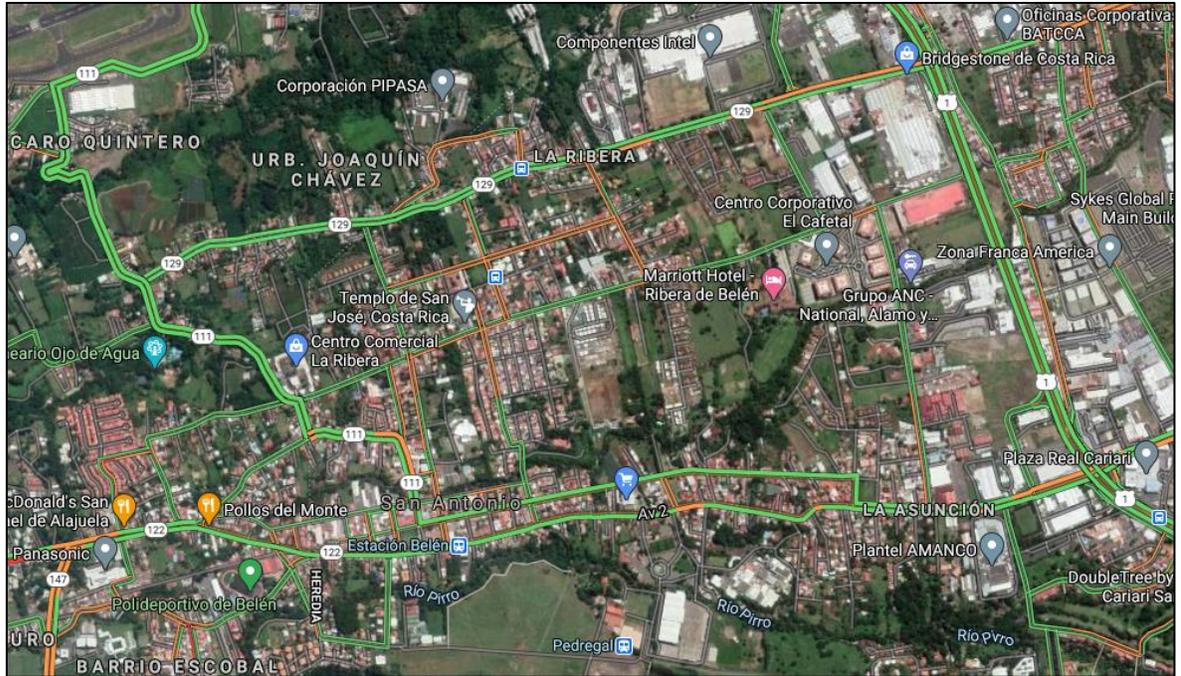


Figura 8. Apreciación de tráfico representativo captado por Google Maps durante un momento específico del periodo pico matutino
Fuente: Google Maps

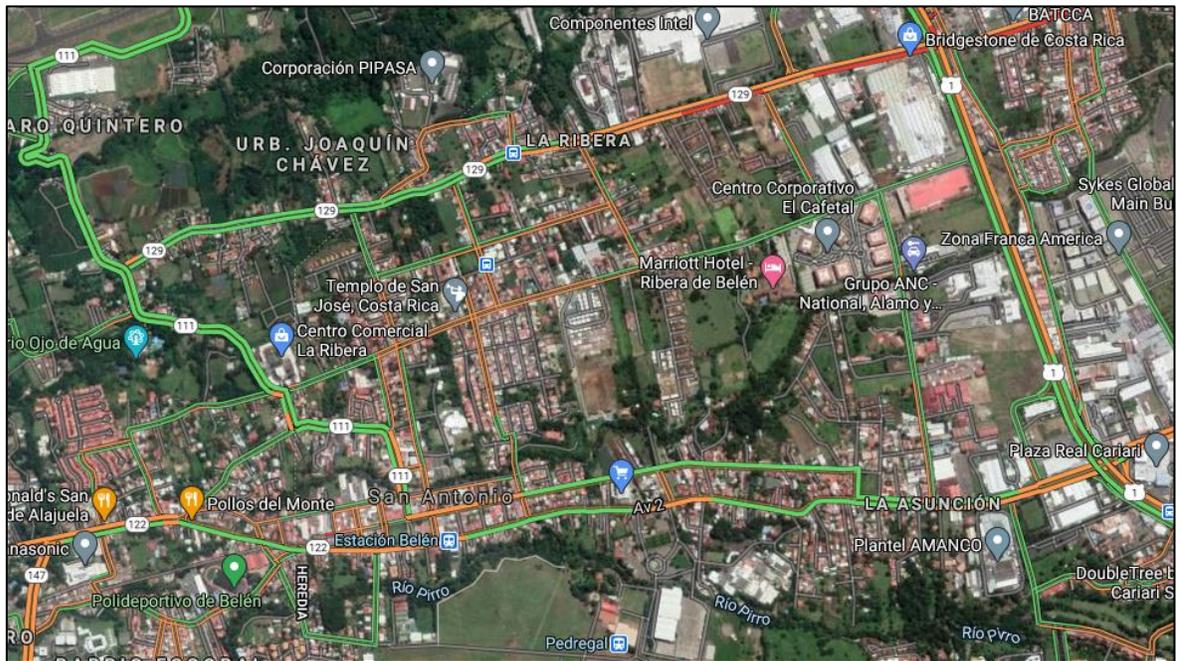


Figura 9. Apreciación de tráfico representativo captado por Google Maps durante un momento específico del periodo pico vespertino
Fuente: Google Maps

Se observa que la mayor cantidad de tráfico se percibe en el periodo de la tarde y se posiciona sobre el sector central de San Antonio y sobre las vías de mayor jerarquía que conectan con el sector de Heredia y la salida hacia la Ruta Nacional No. 1 (Autopista General Cañas). Estos comportamientos brindan una idea clara al modelador de las capacidades y comportamiento del tránsito general dentro de la red vial objeto de estudio.

En función del conocimiento de la red y el procesamiento de todos los datos, se ha realizado una zonificación que permita la creación de una matriz Origen-Destino (OD) que represente las rutas de viajes existentes, actualmente, en la red. La zonificación está constituida por 43 zonas internas y 17 zonas externas al área de estudio, las cuales se muestran en la Figura 10. Es importante destacar que esta matriz es sumamente valiosa para el desarrollo del análisis global de flujos dentro de la red.

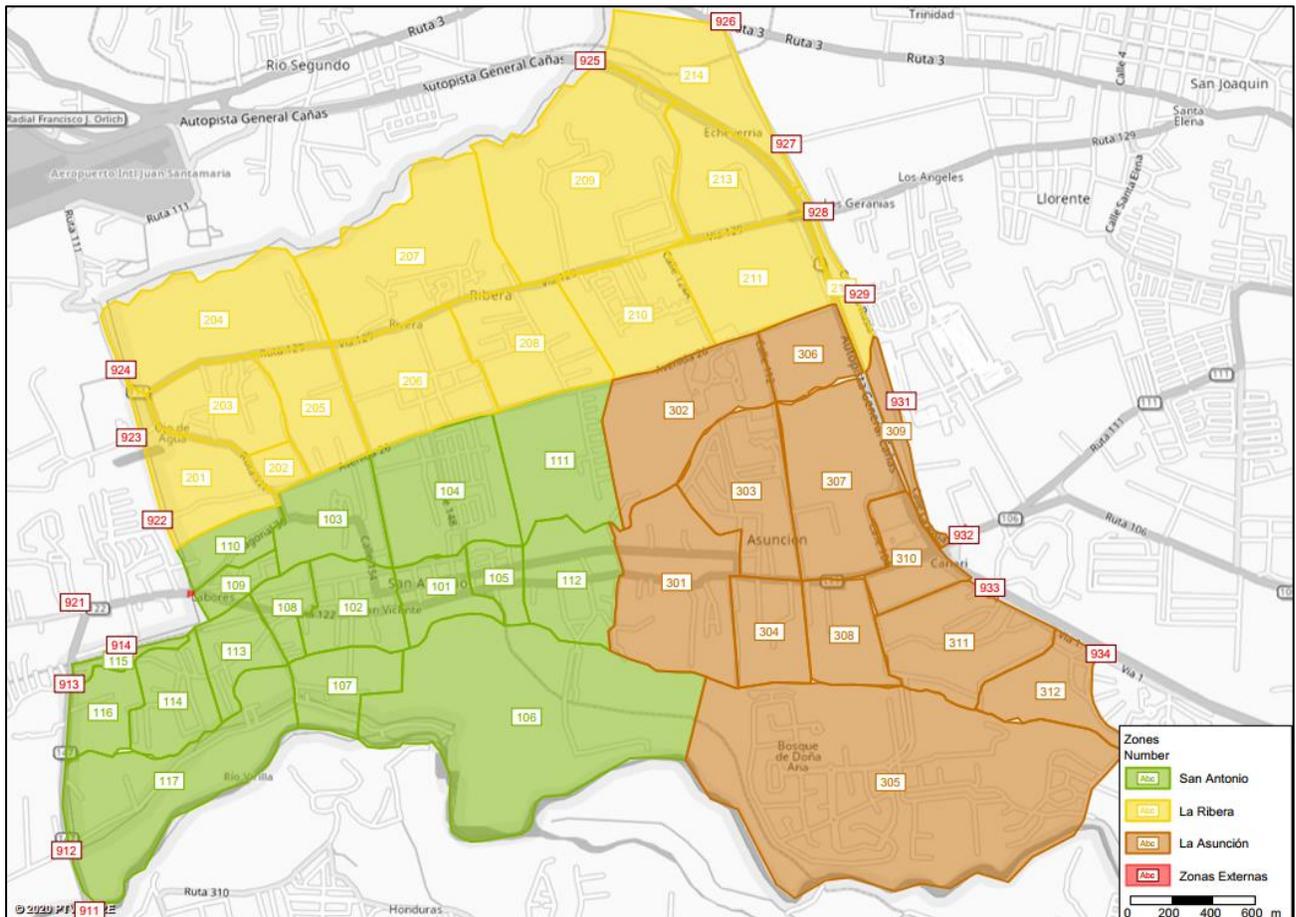


Figura 10. Zonificación del área de estudio
Fuente: IRV S.A.

Las zonas internas se agrupan con una codificación que va del 101 a 312 y las zonas externas parten desde el 911 hacia adelante; esta codificación se emplea para visualizar más fácilmente las zonas tanto internas como externas dentro del modelo de análisis estratégico y en las matrices de viajes que resulten de las iteraciones del mismo. La codificación permite, a su vez, identificar cuadrantes claros dentro de las matrices facilitando su lectura y la interpretación de resultados.

3.1.2. *Elaboración de matriz Origen-Destino*

Las encuestas de interceptación a vehículo privado o llamadas encuestas OD se realizan para obtener patrones de desplazamientos de viajes tanto externos como internos que se realicen en el área de estudio. Estas encuestas arrojan la información necesaria para conformar la matriz origen-destino tanto de vehículos livianos como de carga. Por su parte, los aforos vehiculares permiten expandir las muestras de las encuestas recolectadas. En la Figura 11 se muestran los puntos donde se aplicaron dichas encuestas.



Figura 11. Ubicación de puntos donde se aplicarán las Encuestas OD
Fuente: Elaboración propia

Las encuestas se realizaron entre las 6:00 y 9:00 AM y entre las 3:00 a 6:00 PM, en las ubicaciones indicadas en el Cuadro 2. En Anexos se muestra el Instructivo - Encuestas Origen y Destino de Viajes. Como resultado se obtiene una matriz semilla, la cual se incorpora dentro del software PTV VISUM y luego del proceso de modelación y calibración con los aforos provenientes de los conteos, se aplica el método de estimación matricial que se explica en el punto 3.3 Calibración y Modelización de escenarios base.

Cuadro 2. Ubicaciones y horarios Encuestas OD.

Punto	Ubicación	Fecha
OD01	Cruce Panasonic 9°58'42.11"N, 84°11'57.16"W	Sep 20, 2021
OD02	Apartotel Los Sueños 9°59'21.37"N, 84°11'52.28"W	Sep 21, 2021
OD03	RN 111 frente Cancha Amanco 9°58'48.45"N, 84° 9'52.56"W	Sep 22, 2021
OD04	RN 129 frente a Dos Pinos 9°59'44.02"N, 84°10'7.20"W	Sep 23, 2021
OD05	Calle 124 Cruce RN 1 9°59'59.82"N, 84°10'26.58"W	Sep 24, 2021
OD06	Calle Potrerillo 75m este RN 147 9°58'6.08"N, 84°11'57.44"W	Sep 27, 2021
OD07	Hotel La Riviera 9°59'2.71"N, 84°11'11.82"W	Sep 28, 2021
OD08	Terminal Intermodal 9°58'42.46"N, 84°11'7.46"W (O-E)	Sep 29, 2021
OD08	Municipalidad 9°58'45.62"N, 84°11'8.14"W (E-O)	Sep 29, 2021
OD09	RN 111 100m norte S. Yaplus #2 9°58'54.29"N, 84°11'13.31"W	Sep 30, 2021
OD10	RN 129 frente a Lubri Motor 9°59'28.23"N, 84°11'3.94"W	Oct 01, 2021

3.2. Construcción y evaluación del escenario base

En esta sección se describen los modelos de las variables que permiten obtener los resultados del escenario base de la modelación a nivel estratégico. Esta tarea es de suma importancia debido a que determina si el modelo brinda una representación adecuada de la red del cantón de Belén (modelo calibrado).

A partir de la recalibración del modelo base se determina el funcionamiento actual de la red vial y cómo las propuestas viales a desarrollar inciden en los flujos del cantón de Belén. Para esta tarea, se hace uso del programa computacional PTV VISUM 2021, el cual forma parte de la familia PTV VISION de la firma alemana PTV GROUP. El VISUM es un software validado internacionalmente por especialistas y entes administradores de redes de transporte, contando así con amplia aceptación a nivel mundial y siendo tomado como referente en el área de la gestión de transporte.

3.2.1. Construcción de la oferta vial en PTV VISUM

Para la primera etapa se desarrolló el modelo de la red vial de Belén, con el simulador macroscópico PTV VISUM que permitió concretar la asignación de los volúmenes en el escenario actual, de forma tal que coincidan con los relevamientos obtenidos de la Municipalidad de Belén. Para una segunda etapa se usa la red anterior donde con la nueva caracterización de la demanda obtenida de los relevamientos del 2021, se ejecuta una recalibración y se obtienen los resultados para el escenario base del año 2021.

Como se mencionó anteriormente, PTV VISUM es el programa computacional líder en el mundo para el análisis de tránsito, planificación y gestión de datos. PTV VISUM permite modelar redes de transporte y demanda de viajes, analizar los cambios del tránsito previstos, planificar servicios de transporte público y desarrollar avanzadas estrategias y soluciones de transporte. El programa administra y gestiona datos basados en un sistema de información geográfica (SIG), permitiendo la generación de sub-redes y obteniendo modelos de demanda basados en rutas con distribución simultánea y cálculo de elección de modo y demanda anidado. Trabaja tanto con métodos de asignación de transporte privado como con métodos y operaciones de asignación de transporte público, contemplando la posibilidad de clasificar los vehículos por rangos de velocidad por carril. El modelo se insertó en una base preexistente que lo rodea. La conexión con estas otras áreas se considera una condición de borde y la información de demanda de esta condición de borde esta facilitada por las llamadas zonas externas de viajes.

Se construyó una red de tránsito que representa cada una de las vías internas del área del cantón de Belén a modelar, así como también sus nodos de interconexión. Entre los principales objetos presentes en la red se pueden encontrar los arcos, nodos, zonas y conectores. Cada uno de estos componentes tendrá información asociada.

Los arcos representan la infraestructura vial y su información asociada es:

- Longitud
- Direccionalidad
- Nombre de la calle
- Velocidad permitida en el tramo
- Tiempo de viaje del tramo
- Capacidad del tramo
- Cantidad de carriles
- Conteos livianos
- Conteos pesados

La capacidad del tramo se calculó en función de las tipologías y jerarquización de la red que fueron definidas en la Sección 3.1.1. Los valores de capacidad se multiplicaron con la cantidad de carriles para obtener la capacidad de cada tramo. En la Figura 12 se observa la red vial a modelar con su cantidad de carriles, donde el color amarillo representa 2 carriles por sentido, el verde 3 carriles, el rojo 4 carriles y el resto de la red vial de color negro de 1 carril por sentido.

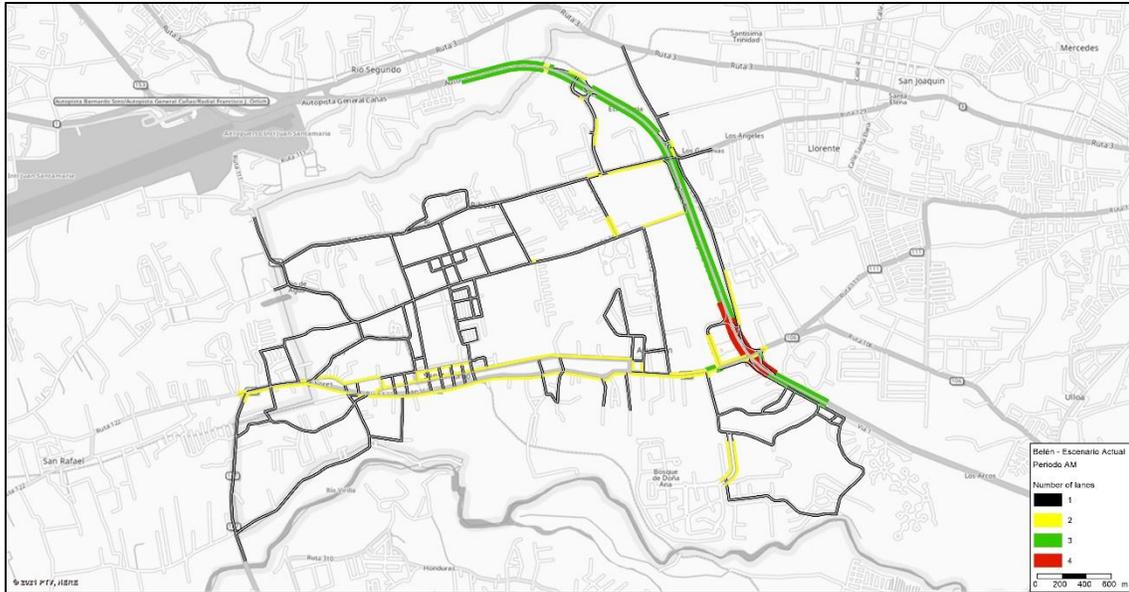


Figura 12. Red vial del área a modelar y cantidad de carriles (Sector de la Ribera de Belén)

Fuente: IRV S.A.

Es importante recalcar que las zonas establecidas para la primera etapa no sufrieron ninguna modificación con respecto a la segunda etapa. Estas zonas se muestran en la Figura 10 y formaron la base estructural para la construcción de la matriz actual, esta estructura se explica punto por punto a continuación:

- Se crea una matriz que tiene como ordenadas a los ingresos a la red y como abscisas los egresos de esta, es decir, una matriz de orígenes y destinos de viajes.
- Se agrega un campo numérico a la base de datos para la identificación de los centroides de las zonas que representan el área objeto de estudio.
- Se completa el campo de identificación de los centroides con el nombre de la zona.
- Se inserta a la base un campo con la capacidad total de cada tramo, que se calcula como:

$$Capacidad\ total\ de\ cada\ tramo = \frac{Capacidad}{carril} \times cantidad\ de\ carriles\ efectivos.$$

- Se cargan los volúmenes de los conteos vehiculares.
- Se crea la red a modelar.
- Se grafican los volúmenes de conteos en barras, según sentido y clasificación.

Por último, un parámetro fundamental que deben tener los enlaces de la red es una “función flujo - demora” y en este caso, así como también se le asignó a la primera etapa, se utilizó la desarrollada por el instituto **Bureau**

of Public Roads (BPR) llamada actualmente **Federal Highway Administration (FHWA)** de Estados Unidos, esta función se describe en la siguiente fórmula:

$$FD = t_i \times \left[1 + \alpha_i \left(\frac{x_i}{C_i} \right)^{\beta_i} \right]$$

Dónde:

- t_i es el tiempo de viaje para el tramo i con la velocidad en flujo libre
- C_i es la capacidad del tramo i
- x_i flujo en el tramo i
- α y β son constantes de calibración

3.2.2. Inserción de demanda base registrada de los aforos en campo

Se analizaron los datos provenientes de campo dando como resultado que los horarios pico a modelar serian:

- Periodo Matutino: 7:00 hrs
- Parido Vespertino: 17:00 hrs

Una vez obtenidos los periodos a modelar se procedió a crear dos atributos específicos en el modelo para que se pudiera ubicar la información correspondiente a cantidad de vehículos livianos y pesados provenientes de los aforos.

Estos valores, clasificados originalmente por movimientos, fueron totalizados por afluentes y de esta forma cargados a los enlaces o tramos de la red vial a modelar. De esta manera, el algoritmo de estimación matricial insertado dentro de la estructura de procedimientos del PTV VISUM puede levantar esta información de manera oportuna.

Este mismo proceso se aplicó para cada uno de los modos de transporte a modelar y para cada uno de los periodos pico analizados (matutino y vespertino), aplicándole un código de atributo para dar paso al inicio de las asignaciones iniciales.

En cuanto a las operaciones de transporte público se debe destacar que el presente estudio no cuenta con un alcance para realizar un análisis detallado del mismo, no obstante, se debe aclarar que la red cuenta con una precarga de información de este medio de transporte, basada en las rutas y frecuencias de viajes de estas.

Las precargas de transporte público se realizan en una red de asignación para contabilizar las unidades por link/hora que se encontrarían operando al momento de realizar las asignaciones de transporte privado en la red vial. Esta precarga asegura que las iteraciones realizadas por el algoritmo de asignación contemplen de una forma realista la relación que tendrían estos dos sistemas de transporte dentro de una red vial.

Para esta labor de precarga se obtuvieron datos específicos de los prestadores de servicio que incluían las rutas y las frecuencias, las cuales fueron cargadas a la red vial y transformados a número de vehículos equivalentes.

Por otra parte, se toma en consideración una tipología específica para cada corredor vial que contempla una operación de transporte público dentro de las capacidades estimadas para cada tipo de vía. Esto genera una restricción de capacidad en cada arco de la red vial que posee una operación de transporte público. Para los casos de vías de jerarquías superiores se tomó en consideración una tipología que tiene implícito en su cálculo una variable de transporte público tal como se muestra en el Cuadro 1.

3.3. Calibración y Modelización de escenarios base

La asignación de tráfico se realizó con el método de equilibrio de usuario implementándose también dentro de esta un algoritmo de corrección matricial que permite el cálculo de la matriz de demanda final tomando como referencia los datos recabados en campo en el 2021 y la matriz origen-destino estimada en el punto 3.1.2. Este módulo interno de PTV VISUM se llama “TFlowFuzzy” y en la Figura 13 se muestra una representación conceptual del proceso por el cual el algoritmo realiza la estimación matricial.

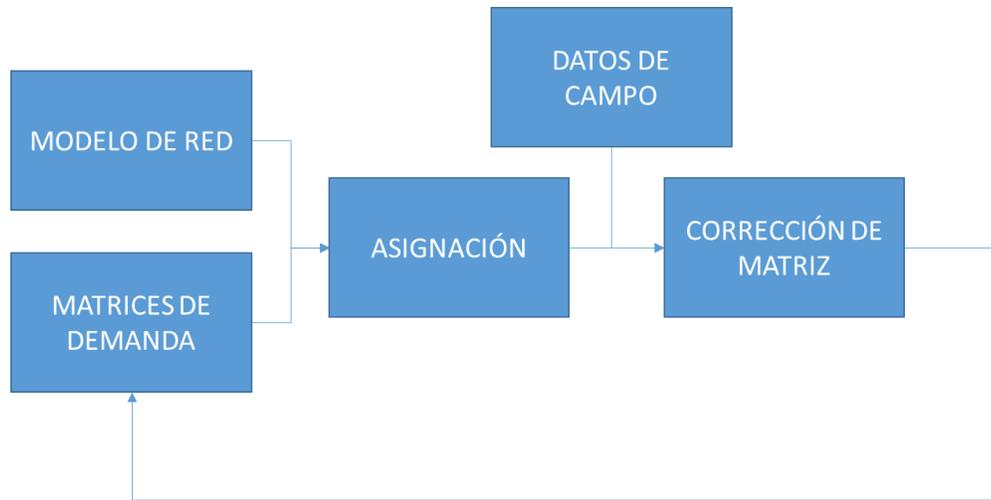


Figura 13. Algoritmo de estimación matricial TFlowFuzzy
Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Indicadores de Calibración del Modelo

Como indicadores de calibración se analizan el RMSE, el GEH y el R2, en función de lo requerido.

3.3.1.1 Indicador RMSE

El error de la raíz de la media cuadrada (RMSE) y el error porcentual de la raíz media (% RMSE o Relative RMSE) son cálculos comunes en el proceso de la calibración de tránsito para determinar si los volúmenes modelados se ajustan a los conteos. El RMSE comparará flujos medidos y los asignados.

La fórmula del RMSE es:

$$RMSE = \sqrt{\sum_j \frac{(Modelo_j - Conteo_j)^2}{Cantidad\ de\ conteos}}$$

Donde j representa cada tramo con conteo. Esto da una idea del error, pero no de su magnitud relativa. Para ello está el %RMSE, cuya fórmula es:

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{Valor\ promedio\ de\ los\ conteos} \cdot 100$$

Los valores de %RMSE varían entre 10 y 100. 10% describe flujos muy similares a los conteos, mientras que 100% corresponde a flujos muy diferentes.

El resultado que aparece es la cantidad de puntos de comparación, RMSE, suma de los conteos, suma de los volúmenes del modelo y el cociente entre ambos.

3.3.1.2 Indicador GEH

La calibración del modelo se realizó con los volúmenes de aquellos tramos donde se disponía información en función de los resultados de los aforos realizados. Para la calibración se aplicaron indicadores GEH, de forma tal que cumplan algunos de los requerimientos que exige la FHWA en el “Traffic Analysis Toolbox Volume III Guidelines for Applying Traffic Modeling Software” en su versión de 2004. El indicador GEH es para determinar una operación consistente en la comparación del escenario base de la situación actual modelada con los datos recabados en campo.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Dónde:

M: es el flujo obtenido en el modelo

C: es el flujo observado en campo.

Los resultados obtenidos son evaluados en base a una escala, si el valor GEH se encuentra entre un intervalo de 0-5, el modelo está calibrado, si el GEH se encuentra entre 5-10, el modelo no estaba perfectamente calibrado y si el GEH es superior a 10 el modelo no está correctamente calibrado y no se admite su uso. Como se muestra en el Cuadro 3, la forma de calibración de la red se realiza a partir del porcentaje de aceptación mediante tres posibles criterios: diferencia menor al 5% de la suma de todos los conteos, más de un 85% de los casos el GEH es menor a 5 o el GEH es menor a 4 para la suma de todos los flujos de los tramos con mediciones.

Cuadro 3. Criterios de Calibración

Criterios y medidas	Objetivos de aceptación de la calibración
Flujos horarios, modelos versus medido	
Suma de todos los flujos de tramos con mediciones	Diferencia menor al 5% de la suma de todos los conteos
Indicador GEH < 5 para cada tramo	> 85% de los casos
Indicador GEH para la suma de todos los flujos de tramos con mediciones	GEH < 4 para la suma de todos los tramos con conteo

A continuación, se presentan los cuadros con los resultados del GEH y RMSE para tránsito liviano y pesado, para los periodos pico en estudio AM y PM.

En el Cuadro 4 y Cuadro 5, se observa que en promedio la red presenta un GEH de 1.9 y 2.2 para el periodo pico de la mañana, y en el Cuadro 6 y Cuadro 7 presentan GEH de 1.7 y 2.00 para tránsito liviano y pesado respectivamente en el período pico de la tarde. Esto demuestra que la red se encuentra muy bien calibrada en relaciones de volumen, contribuyendo a la obtención de resultados bastantes aceptables y lo más cercano a la realidad.

Cuadro 4. Resultado de calibración por medio de GEH para vehículos livianos en la hora pico de la mañana

Evaluación de parámetros de calibración Livianos - Periodo AM	
GEH: Promedio	1.9
%GEH:<5.0	92%
Deviation: Promedio	10%
Deviation: Promedio Ponderado	7%
%RMSE	11%

Cuadro 5. Resultado de la calibración por medio de GEH para vehículos pesados en la hora pico de la mañana

Evaluación de parámetros de calibración Pesados - Periodo AM	
GEH: Promedio	2.2
%GEH:<5.0	84%
Deviation: Promedio	33%
Deviation: Promedio Ponderado	25%
%RMSE	39%

Cuadro 6. Resultado de calibración por medio de GEH para vehículos livianos en la hora pico de la tarde

Evaluación de parámetros de calibración Livianos - Periodo PM	
GEH: Promedio	1.7
%GEH:<5.0	92%
Deviation: Promedio	12%
Deviation: Promedio Ponderado	6%
%RMSE	9%

Cuadro 7. Resultado de la calibración por medio de GEH para vehículos pesados en la hora pico de la tarde

Evaluación de parámetros de calibración Pesados - Periodo PM	
GEH: Promedio	2
%GEH:<5.0	88%
Deviation: Promedio	33%
Deviation: Promedio Ponderado	27%
%RMSE	45%

3.3.1.3 Indicador R^2

Adicionalmente, se utilizó el coeficiente de determinación R^2 para cada uno de los escenarios evaluados. El R^2 es un estadístico usado en el contexto de un modelo cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. Este es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson determinando la calidad del modelo para replicar los resultados. De la Figura 14 a la Figura 17 se muestran los valores de R^2 para los escenarios y periodos analizados.

Si bien se observa que los coeficientes de R^2 son aceptables para cada uno de los modos de transporte se pueden notar diferencias entre los coeficientes de vehículos livianos y vehículos pesados. Se realizaron análisis a los aforos realizados y se notaron saltos de información entre afluentes adyacentes, lo cual hace pensar que los datos de transporte pesado no son constantes para la mayoría de la red a lo largo de la semana (entre semana), por lo cual el modelo en su tarea de replicar los datos existentes en campo se ve obligado a racionalizar cada uno de estos saltos equilibrando los valores para establecer una coherencia más homogénea de los mismos.

En cuanto a los coeficientes de transporte liviano se puede observar que el modelo se encuentra replicando de manera eficiente los datos de campo, concluyendo de esta forma que la calibración realizada es sumamente aceptable para la red de tránsito del cantón de Belén.

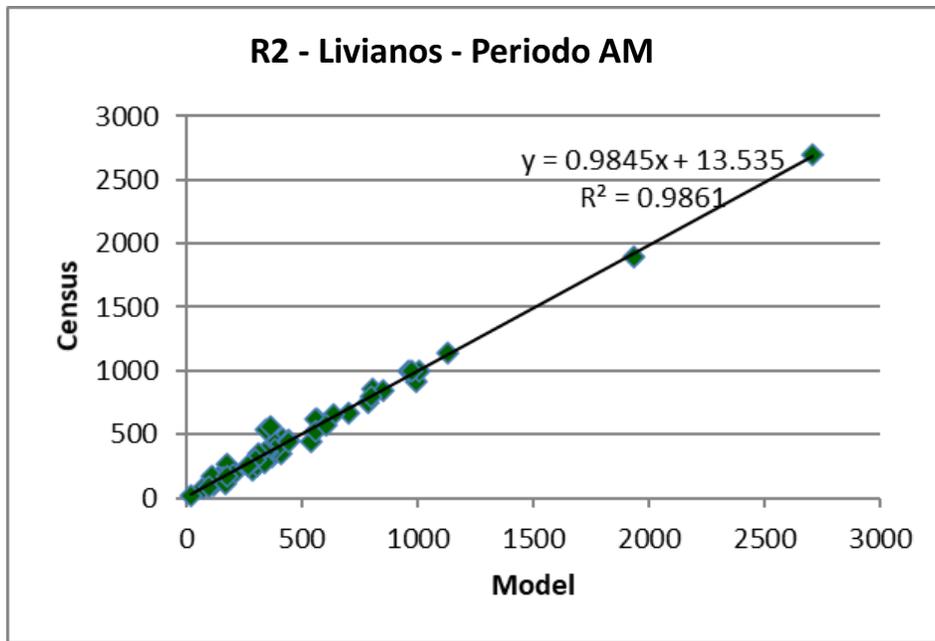


Figura 14. Coeficiente de determinación R^2 para el modo de transporte privado liviano, periodo AM.
Fuente: Elaboración propia

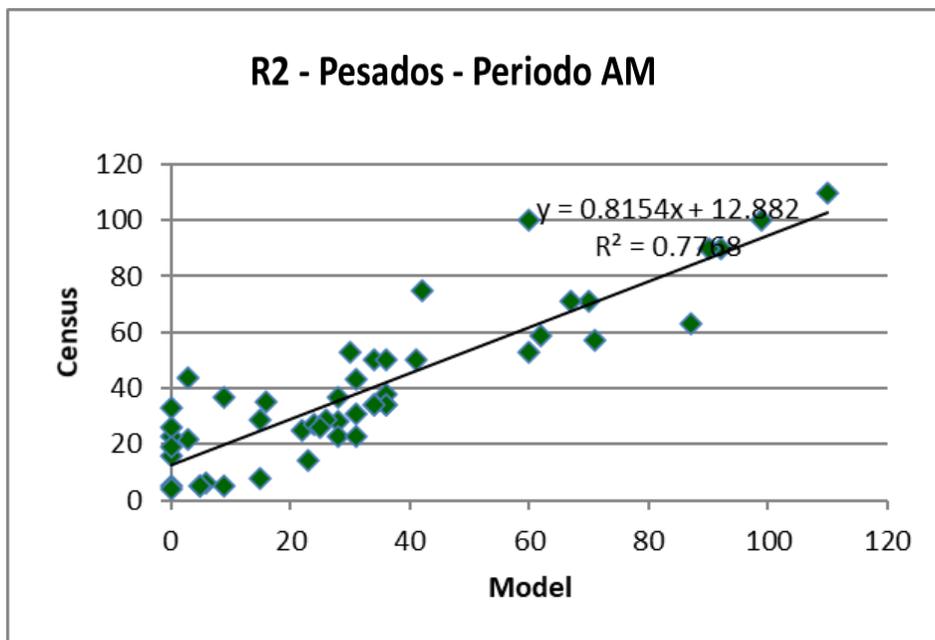


Figura 15. Coeficiente de determinación R^2 para el modo de transporte privado pesado, periodo AM.
Fuente: Elaboración propia

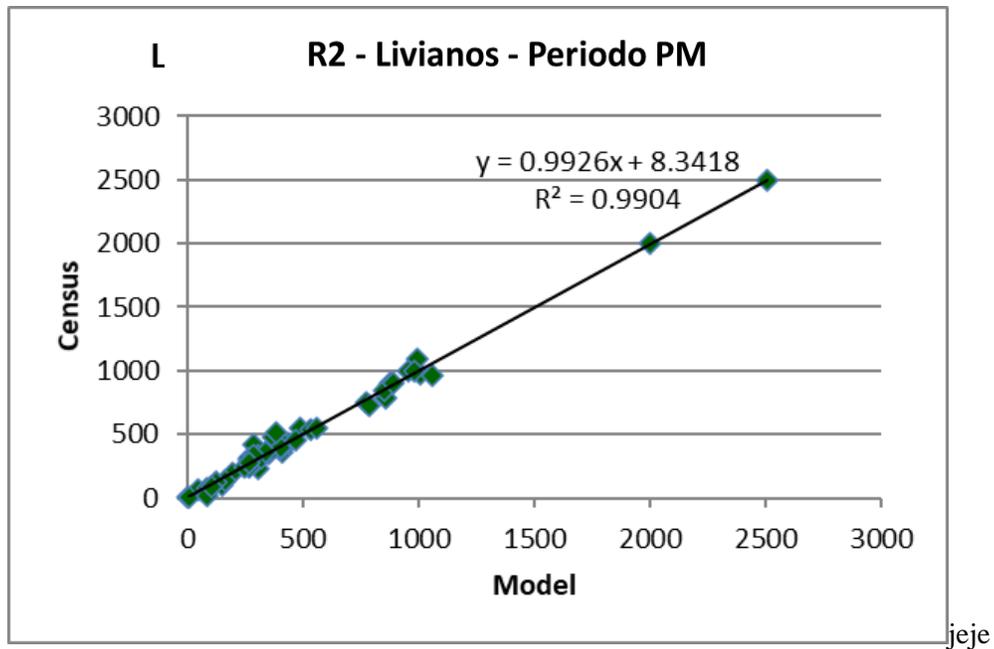


Figura 16. Coeficiente de determinación R^2 para el modo de transporte privado liviano, periodo PM.
 Fuente: Elaboración propia

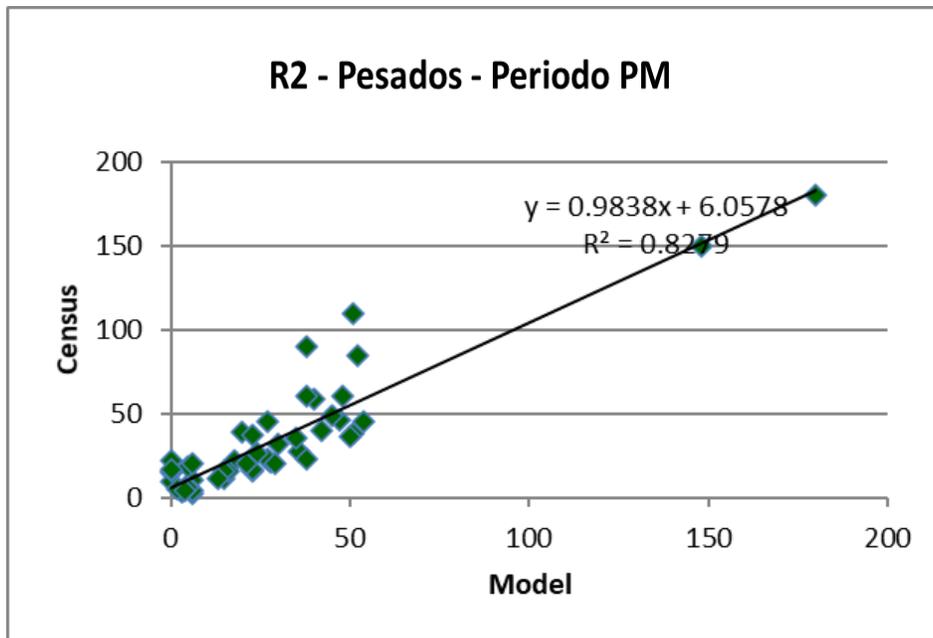


Figura 17. Coeficiente de determinación R^2 para el modo de transporte privado pesado, periodo PM.
 Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente a estos indicadores también se analizaron la comparación del volumen de tránsito asignado por el modelo y las medidas en campo, como resultado se obtienen las siguientes gráficas. Se confirma lo descrito anteriormente, los volúmenes de los vehículos livianos obtenidos en campo coinciden muy bien con los del modelo, sin embargo, se observan mayores diferencias en los vehículos de carga por las variaciones a lo largo de la semana aunque están en el rango de lo aceptable a partir de los criterios de calibración.

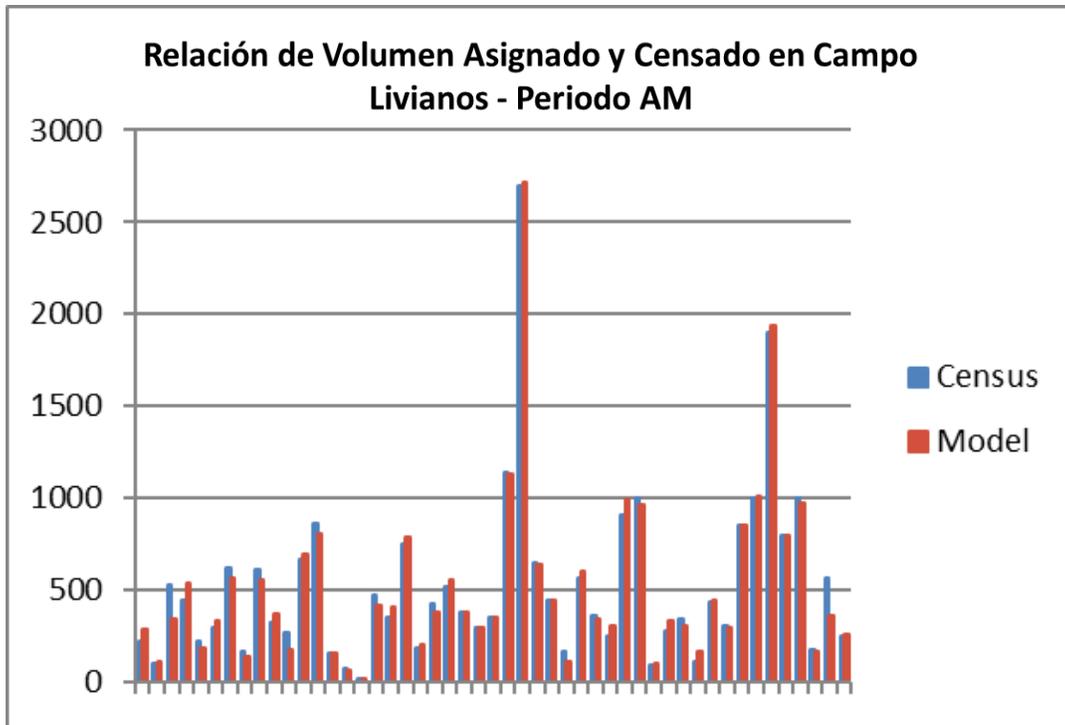


Figura 18. Relaciones de volúmenes asignados con los medidos en campo, modo de transporte privado liviano, periodo AM
Fuente: Elaboración propia

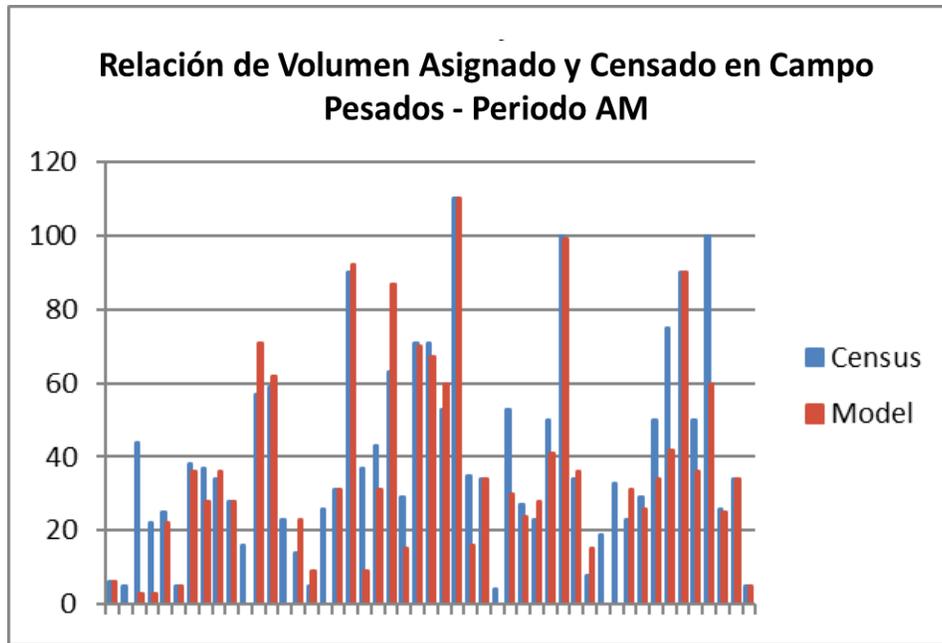


Figura 19. Relaciones de volúmenes asignados con los medidos en campo, modo de transporte privado pesado, periodo AM
 Fuente: Elaboración propia

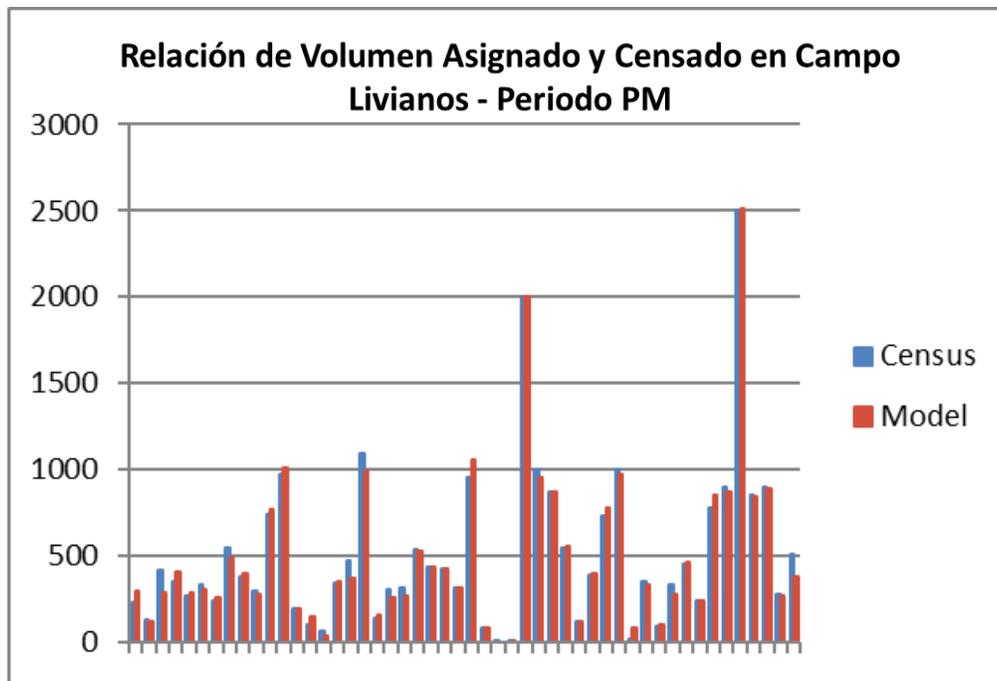


Figura 20. Relaciones de volúmenes asignados con los medidos en campo, modo de transporte privado liviano, periodo PM
 Fuente: Elaboración propia

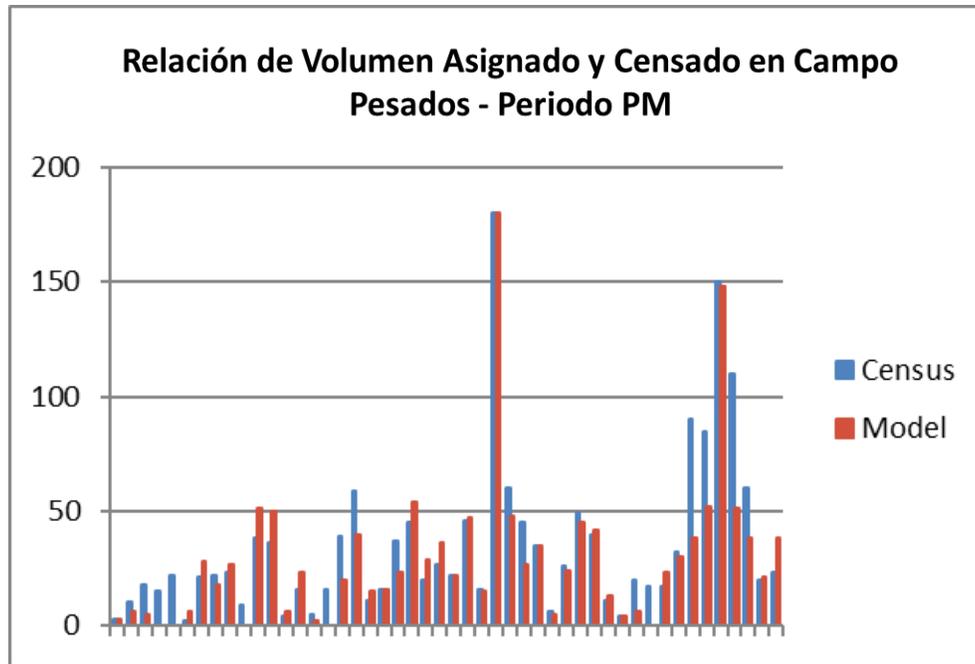


Figura 21. Relaciones de volúmenes asignados con los medidos en campo, modo de transporte privado pesado, periodo PM
Fuente: Elaboración propia

Por último, el modelador realiza una calibración visual de los datos arrojados por el modelo cumpliendo de esta forma con la calibración visual.

3.3.2. Modelización de Escenario Base, sin medidas de mitigación

En las siguientes imágenes se muestran los resultados de los modelos correspondientes para los periodos AM y PM en la situación actual con los volúmenes del 2021.

Tal como se obtuvo durante la primera etapa de estudio, no existen cambios significativos en la operación estructural de la red vial base, en ambos períodos es observable un comportamiento de tránsito que estima movimientos mayoritariamente en el sentido Norte-Sur y viceversa que se desarrollan en la Ruta Nacional 1. Además, de aquellos viajes dentro de la red local de Belén que se observan en las conexiones Este-Oeste y viceversa. Estos viajes corresponden principalmente a motivos de trabajo y compras/trámite en donde se conectan los centros de negocios y poblaciones más importantes aledaños al cantón de Belén como lo son los

cantones de Alajuela, Heredia y San José, información extraída a partir de la encuesta Origen-Destino sección Motivo de Viaje.

Se observa que los flujos que ingresan y salen del cantón en el periodo de la mañana no experimentan diferencias considerables manteniéndose flujos similares a lo largo de la red vial. Es importante mencionar que la Ruta Nacional No. 1 es la vía principal que conecta el sector de San José con Alajuela y Heredia y, por tanto, atrae y capta un flujo sumamente elevado de vehículos.

Los puntos de mayor captación de volumen dentro del cantón de Belén corresponden a las salidas ubicadas al Este del cantón, las cuales conectan con la Autopista General Cañas y permiten la conexión con el cantón de Heredia. Dichos sectores de las rutas nacionales 129 y 111 son en dónde se perciben las mayores demoras y reducciones de velocidad. También se puede observar otros sectores en los que se percibe un volumen considerable como lo son la salida Oeste del cantón hacia el cantón de Santa Ana por medio de la Ruta Nacional No. 122 hacia la Ruta Nacional No. 147 y el sector central de San Antonio correspondiente al principal centro de transbordo al transporte público y principal zona de redistribución de flujos a lo largo del cantón de Belén.

A continuación, se muestran en la Figura 22 y Figura 23 los resultados descritos anteriormente:

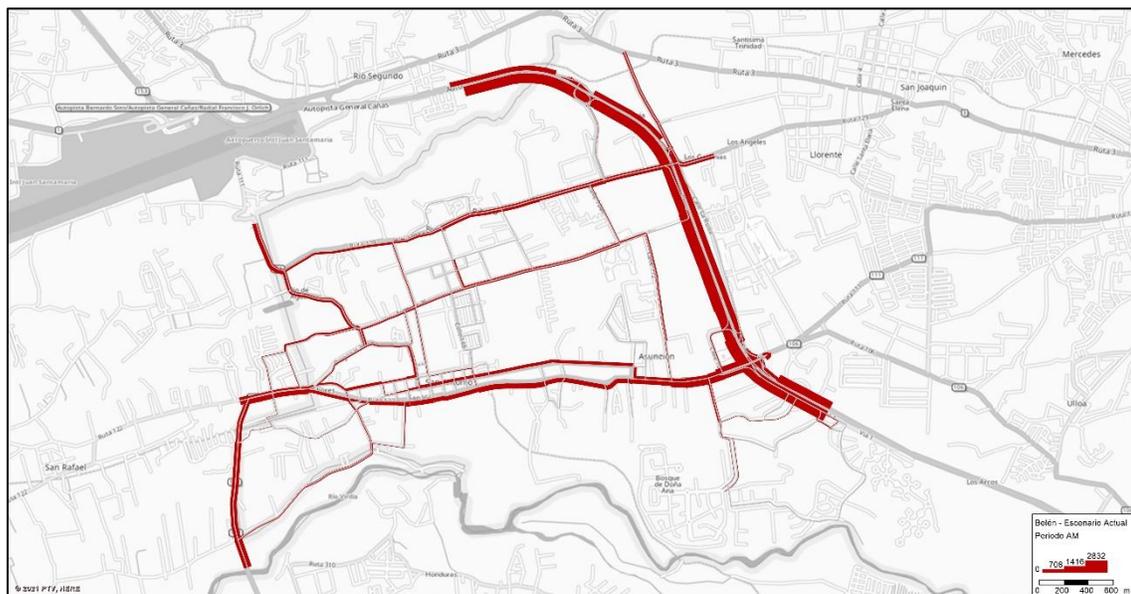


Figura 22. Volumen del modelo de red vial, periodo AM
Fuente: IRV S.A.

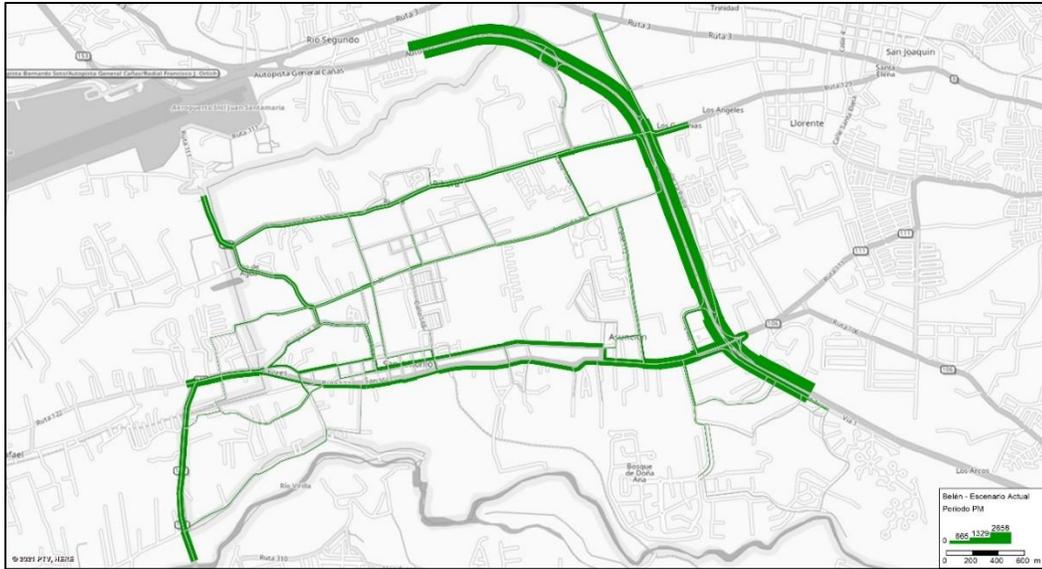


Figura 23. Volumen del modelo de red vial, periodo PM
Fuente: IRV S.A.

En la Figura 24 y Figura 25 se muestra la red vial en el período AM y PM donde se puede observar los modelos de Volumen-Capacidad (V/C) obtenidos durante el análisis. Las condiciones en las rutas 111 y 129 poseen relaciones V/C iguales o mayores a “1” lo que significa que la vía ha superado su capacidad por lo que genera altos índices de congestión vehicular. De igual manera se evidencian altos grados de saturación en la conexión de la ruta 122 con la ruta 147 principalmente en el sentido sur para conectar con Santa Ana.

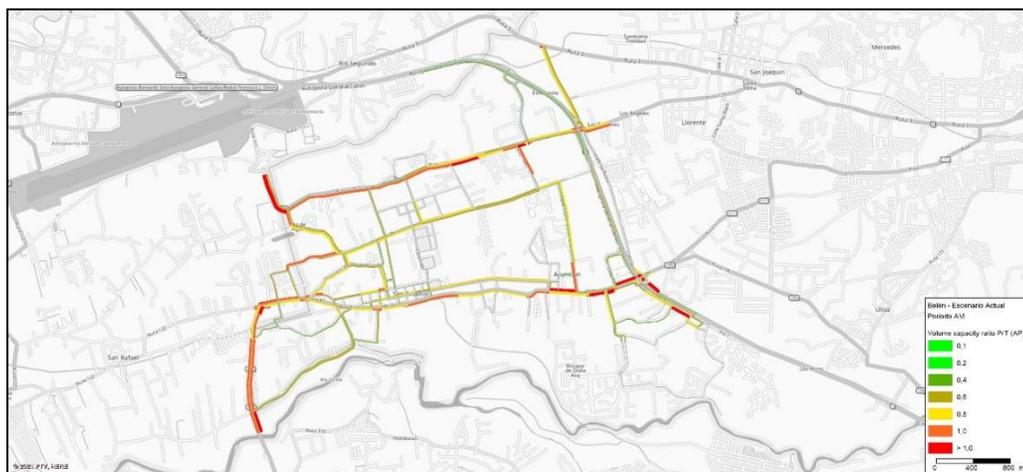


Figura 24. Volumen-Capacidad, periodo AM
Fuente: IRV S.A.

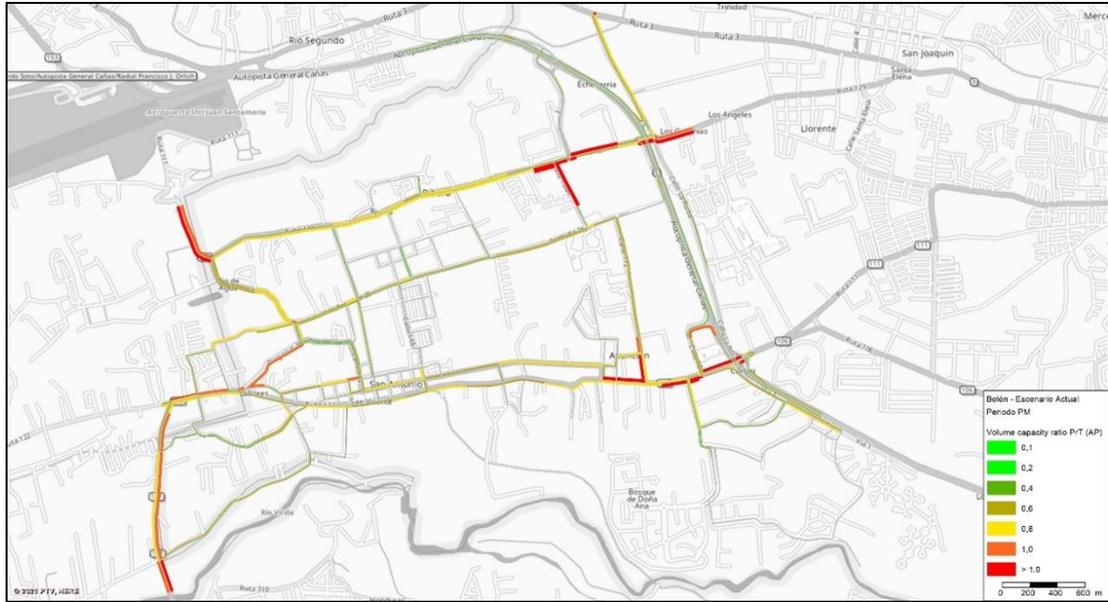


Figura 25. Volumen-Capacidad, periodo PM
Fuente: IRV S.A.

En cuanto a las velocidades resultantes se pueden observar variaciones tanto en el centro de Belén como en la zona adyacente con la Ruta Nacional 1. En el centro de Belén sobresalen las velocidades menores a 30 km/h y en términos generales los vehículos transitan a velocidades de 50km/h o menores. Por otra parte, las velocidades en la Ruta Nacional 1 superan los 50 km/h. En la Figura 26 y Figura 27 se pueden observar las velocidades resultantes de la asignación realizada.

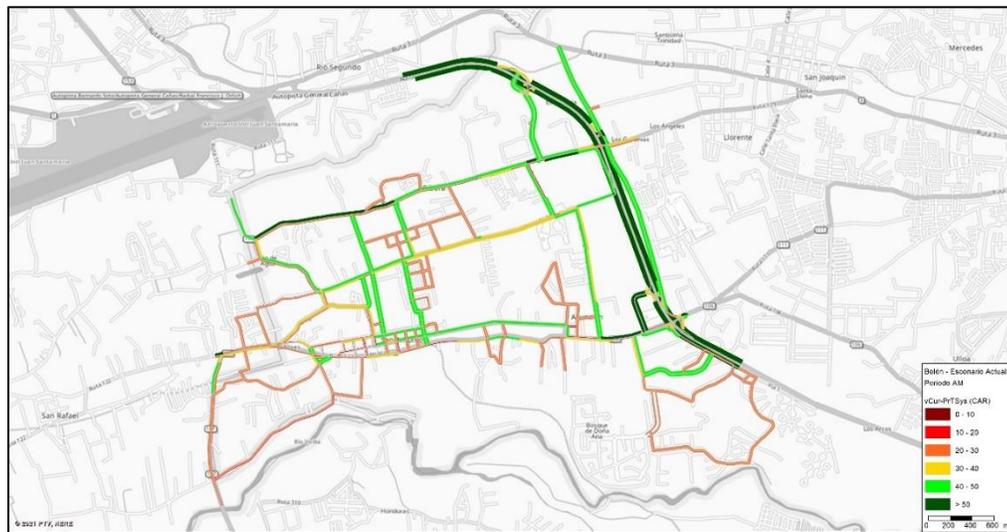


Figura 26. Velocidad, periodo AM
Fuente: IRV S.A.

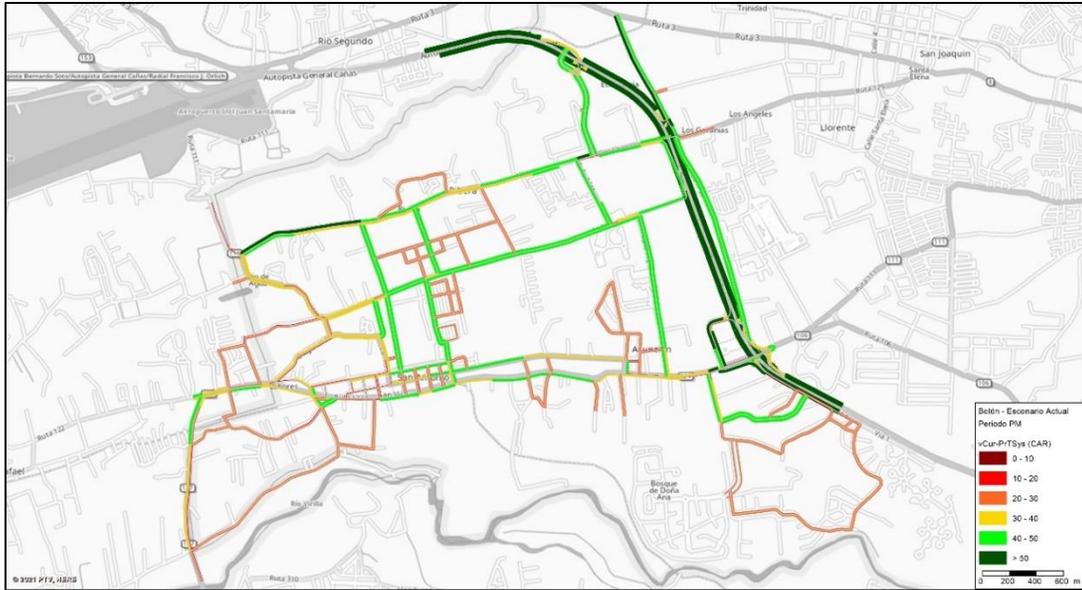


Figura 27. Velocidad, periodo PM
Fuente: IRV S.A.

Con los análisis obtenidos para la situación actual a partir del modelo desarrollado con PTV VISUM se diseñaron propuestas estratégicas que ayuden el ordenamiento vial y la mejora de algunos puntos conflictivos que se encuentran presentes dentro del Cantón.

3.4 Propuesta de mejora

En la Figura 28 se muestran las distintas propuestas planteadas para el sector de Belén. Algunas de estas son propuestas por parte de otros proyectos analizados a nivel micro de forma previa por otras instituciones, como es el caso de la Ampliación del Túnel de la Firestone de un carril por sentido a dos carriles por sentido y la construcción de la rampa que conecta Calle Arbolito con la Ruta Nacional 1. Además, otras propuestas como el cambio de semaforización a dos fases con el fin de mejorar la eficiencia del flujo vehicular y la implementación de pasos peatonales. Algunos semáforos se modifican y otros se implementan, la Figura 29 muestra la ubicación de estos. Por su parte, se sugieren cambios de vías en el centro de Belén a un solo sentido y dos “Loop” que consisten en vías en un solo sentido antihorario. Respecto al “Loop” ubicado en los alrededores de EPA (color morado), se considera que, a corto plazo, año 2023, se puede dejar a doble sentido la calle sobre la RN 111 con dos carriles por sentido. Sin embargo, de acuerdo con estudios de microsimulación

Por otra parte, en el cantón de Belén se aprobó un estudio de factibilidad de ciclovía que se implementará. Por tanto, se ha incluido en la modelación con propuestas en el 2023 y 2031. El trazado se muestra en la Figura 30, esta se determinó a partir de encuestas origen-destino para conocer la demanda, por lo que su trazo abarca tanto rutas cantonales como nacionales.

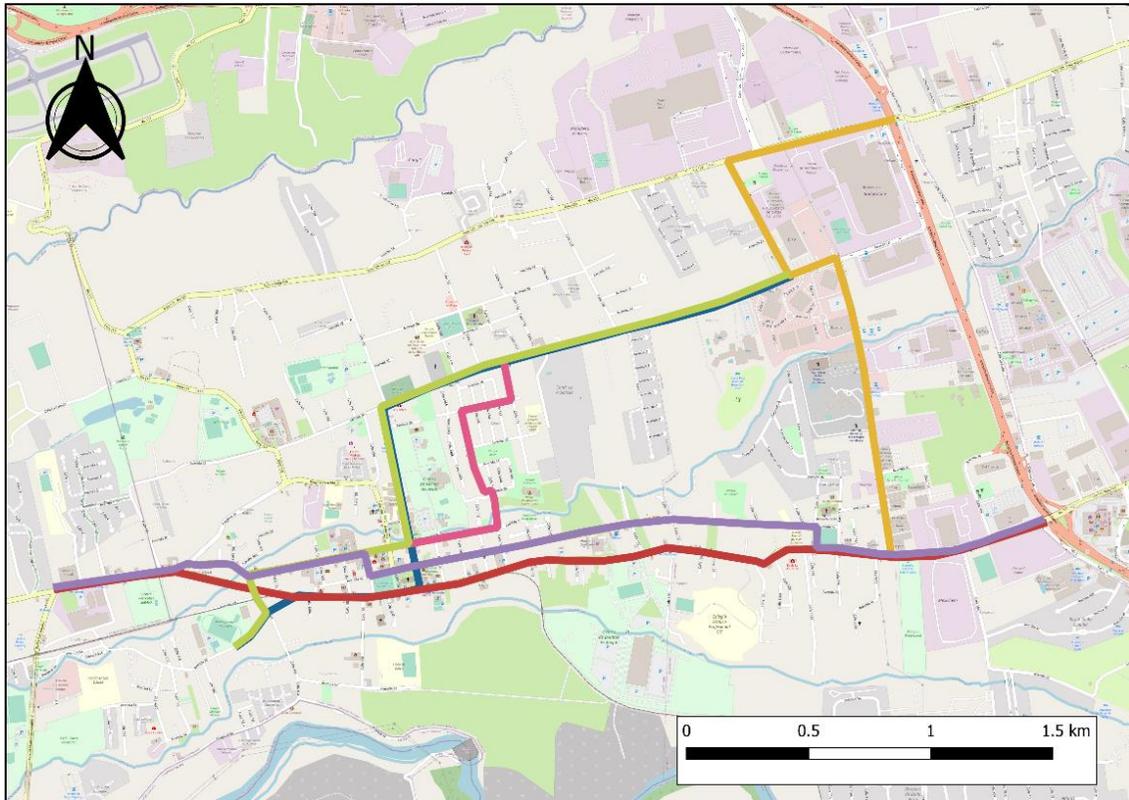


Figura 30. Propuesta de ciclovía implementada
Fuente: Elaboración propia

3.5 Modelización con medidas de mitigación

3.5.1 Año 2023, con propuesta

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para el escenario correspondiente al 2023 el cual forma parte de un horizonte temporal a corto plazo, este escenario posee las propuestas planteadas en el apartado anterior, por lo cual, no constituye solo un cambio en las características de volumen proyectado para este periodo sino que además posee cambios importantes en la configuración de la geometría estudiada, con respecto

a esto último se muestra a continuación en la Figura 31 como se configuraron las cantidades de carriles dentro de la red vial.

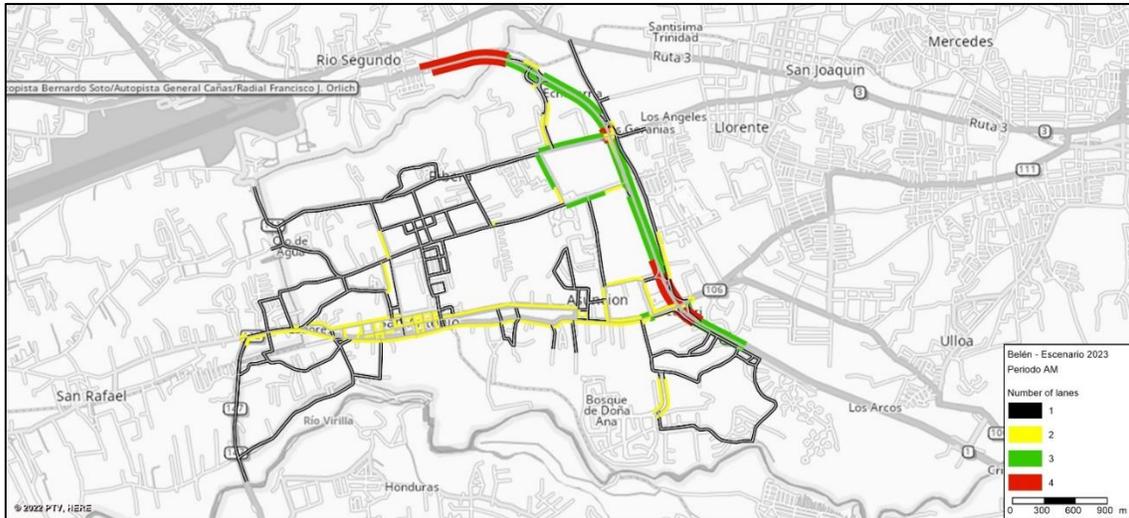


Figura 31. Cantidad de carriles de la modelación propuesta. Año 2023
Fuente: IRV S.A.

Una vez confirmados la cantidad y disposición de los carriles de circulación efectivos planteados para este escenario, lo cual representa cambios a nivel geométrico, se procedió a realizar las asignaciones pertinentes de los modelos AM y PM de este escenario, lo cual permitió diagnosticar la operación vehicular y de esta forma generar los análisis de operación correspondientes. En las siguientes figuras se muestran los resultados de volumen asignados a la red vial del cantón de Belén.

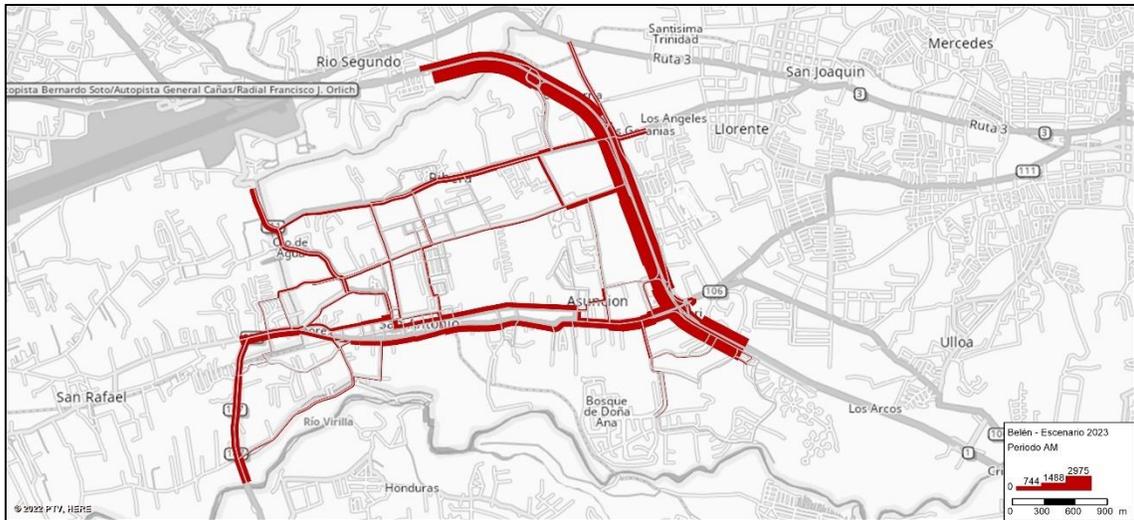


Figura 32. Volumen del modelo de red vial, periodo AM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

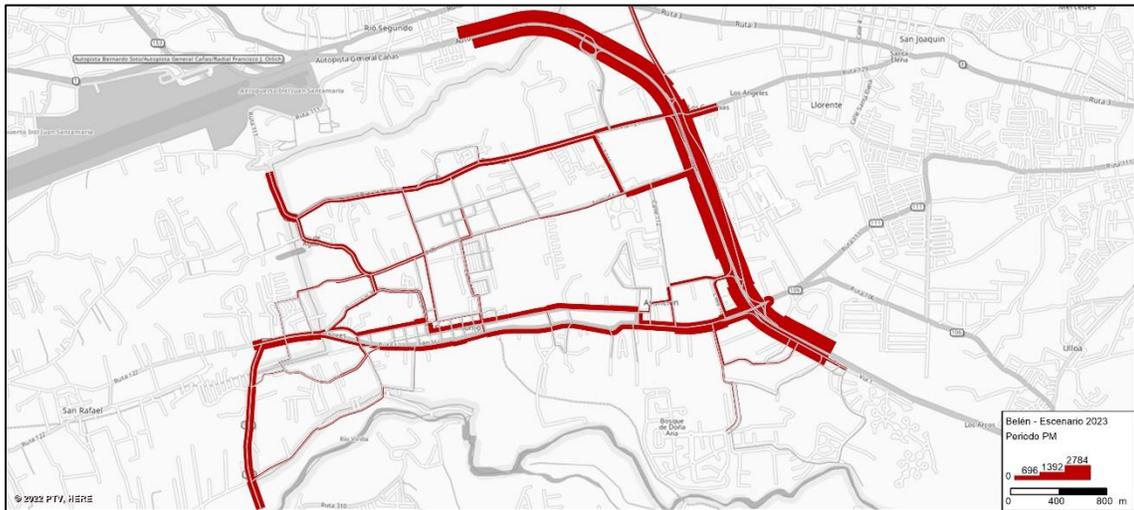


Figura 33. Volumen del modelo de red vial, periodo PM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

Como se puede observar, de las figuras mostradas anteriormente se desprenden las mismas relaciones estructurales de tránsito que se vienen estudiando y que ya fueron comentadas en los resultados del escenario actual, además de la funcionalidad estructural de la red se puede observar un incremento considerable de volumen vehicular dentro de los arcos que conforman el “Loop” de la Firestone, este análisis específico, donde

se muestran las principales zonas con derivaciones de tránsito, se muestran en las siguientes figuras, donde se representan las diferencias de volumen (pérdidas y ganancias de tránsito vehicular) que se evidencian dentro de la red con respecto a los mismos escenarios matutinos y vespertinos de este horizonte temporal asignados, manteniendo la misma configuración de red actual.

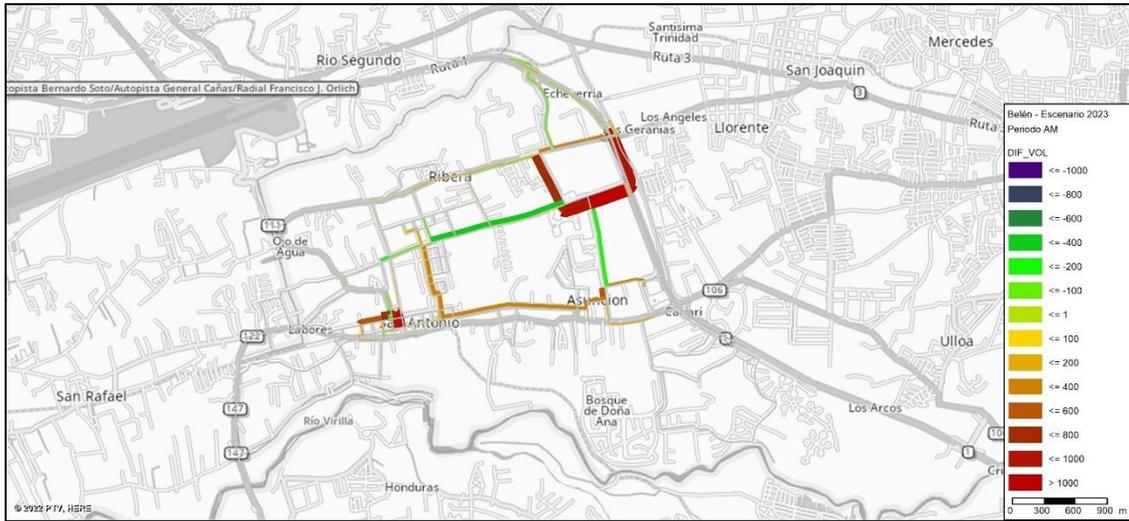


Figura 34. Diferencia de volúmenes respecto a la situación sin propuesta, período AM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

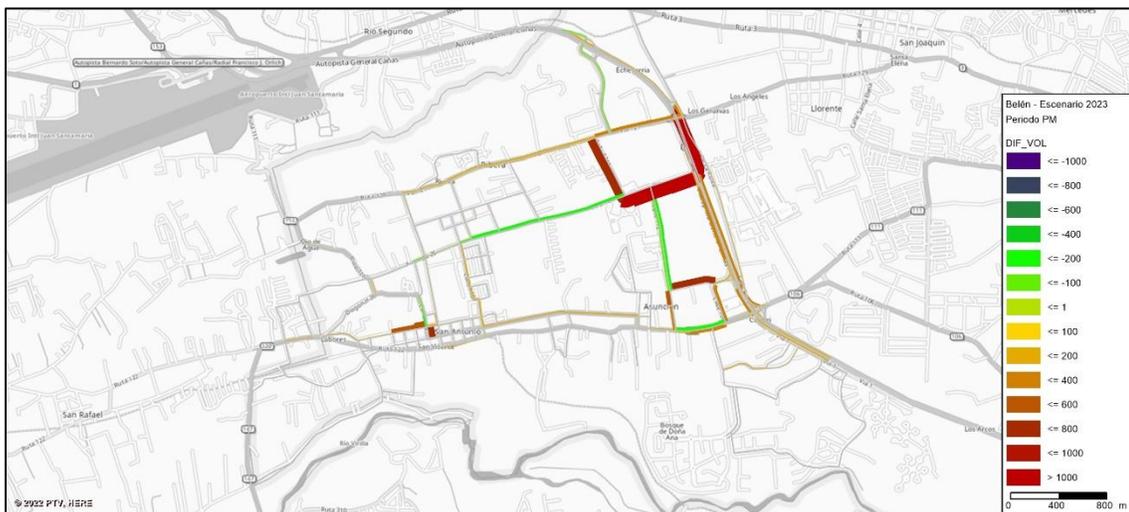


Figura 35. Diferencia de volúmenes respecto a la situación sin propuesta, período PM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

Como se puede observar, las mayores ganancias de tránsito (gama de colores rojizos) se obtienen donde existen los mayores cambios de direccionalidad en las vías que representan a los “Loop” planteados dentro de este escenario.

Por otra parte, y de forma consecuente con la implantación de los trazados de ciclovías, se tiene que la calle Arbolito posee una pérdida considerable de tránsito (en gamas de color verde) el cual ha sido derivado mayormente a las rutas nacionales 129 y 111, consiguiendo de esta forma que el eje de la Calle Arbolito se convierta en una “calle de convivencia vecinal” donde prospere la humanización de sus márgenes. El tercer nivel de análisis abordado en este estudio representa el diagnóstico de los principales focos dentro de la red vial, donde se podrían presentar congestionamientos vehiculares, para este caso y como se ha venido haciendo, se presentan las figuras donde se muestran las relaciones Volumen/Capacidad (V/C) que dan una visión aproximada de las posibles condiciones de operación que se puedan presentar dentro de la red futura.

Para este caso, la Figura 36 y Figura 37 de relación V/C muestran donde se podrían presentar los principales focos de tráfico dentro del área de estudio, de estas figuras se desprende que los análisis realizados en cuanto a derivaciones de volumen vehicular, concuerdan con las manchas de V/C mostradas, observándose un claro incremento de las relaciones V/C en la pista oeste-este de la ruta nacional 129 durante el periodo matutino e incrementos de estas relaciones en la ruta nacional 111 en el sector de La Asunción.

No obstante, vale la pena aclarar que estas relaciones no representan condiciones de saturación y congestionamiento extremo, lo cual es aceptable para las horas que se están representado en el modelo (picos matutino y vespertino),

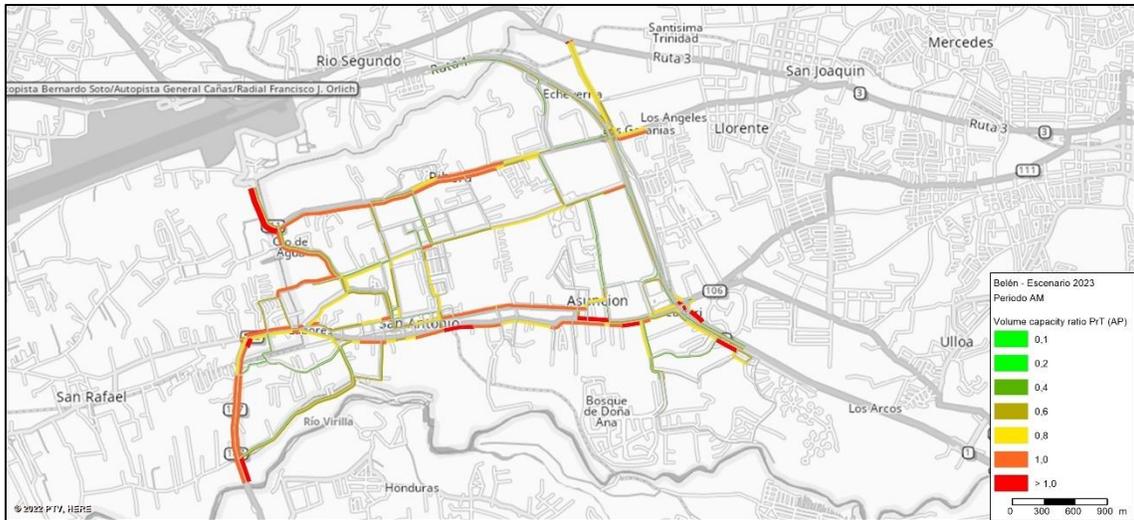


Figura 36. Volumen-Capacidad con propuesta, período AM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

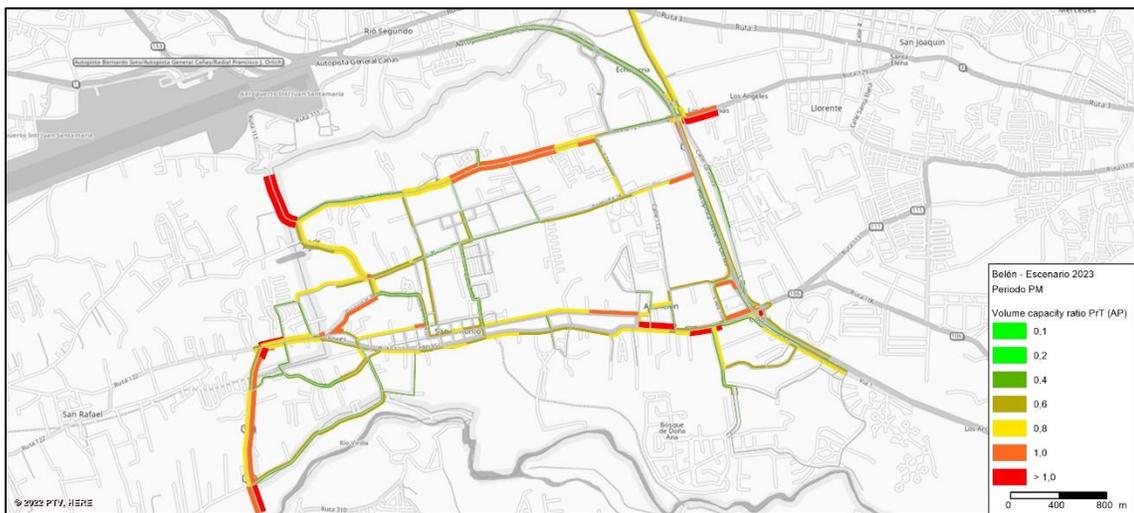


Figura 37. Volumen-Capacidad con propuesta, período PM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

Relacionándose con este último análisis, se presentan en las siguientes figuras, las velocidades estimadas para el escenario AM y PM del año 2023 con propuestas de mitigación.

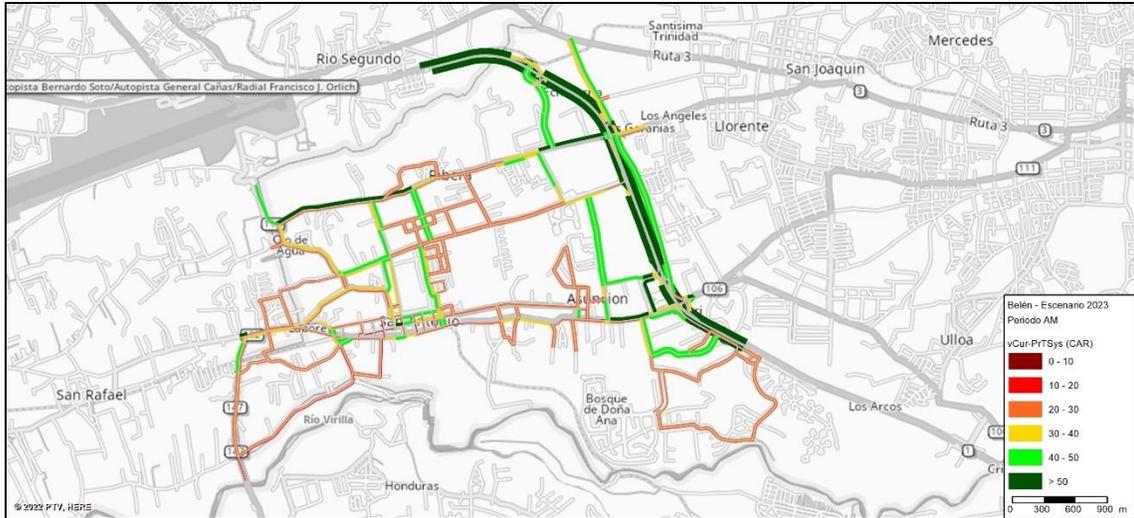


Figura 38. Velocidad con propuesta, período AM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

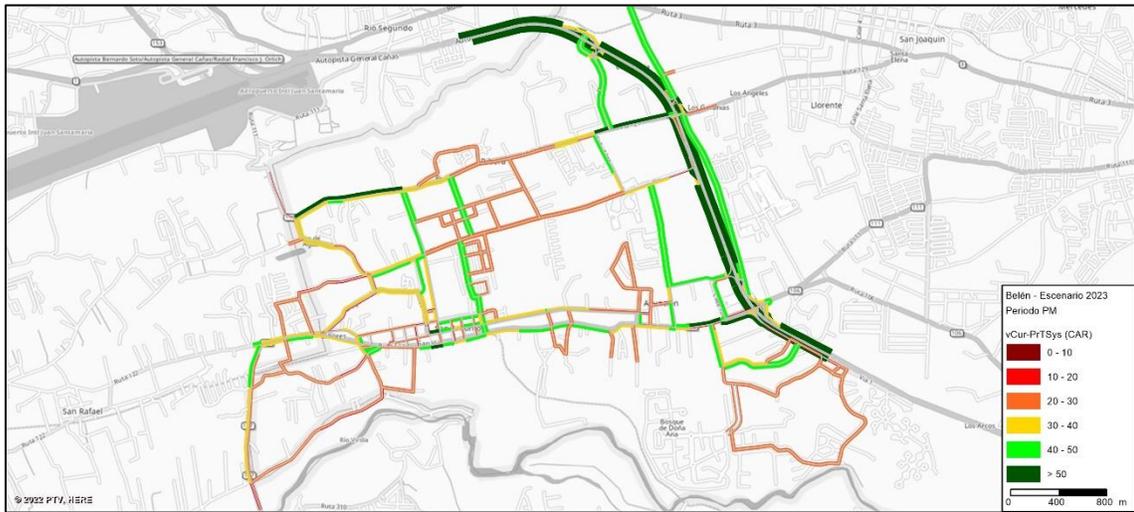


Figura 39. Velocidad con propuesta, período PM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

3.5.1.1 Comparación de modelos sin propuesta y con propuesta para el año 2023

Para una óptima comprensión de los indicadores obtenidos en el escenario 2023, se procede a realizar comparaciones de las características funcionales existentes en cada modelo ya evaluado, con un escenario base para el año 2023, donde solo cambie la matriz de viajes estimada para dicho periodo (ósea, sin cambios en la red vial). En la Figura 40 se muestra la comparación del escenario AM sin y con propuestas de mitigación.

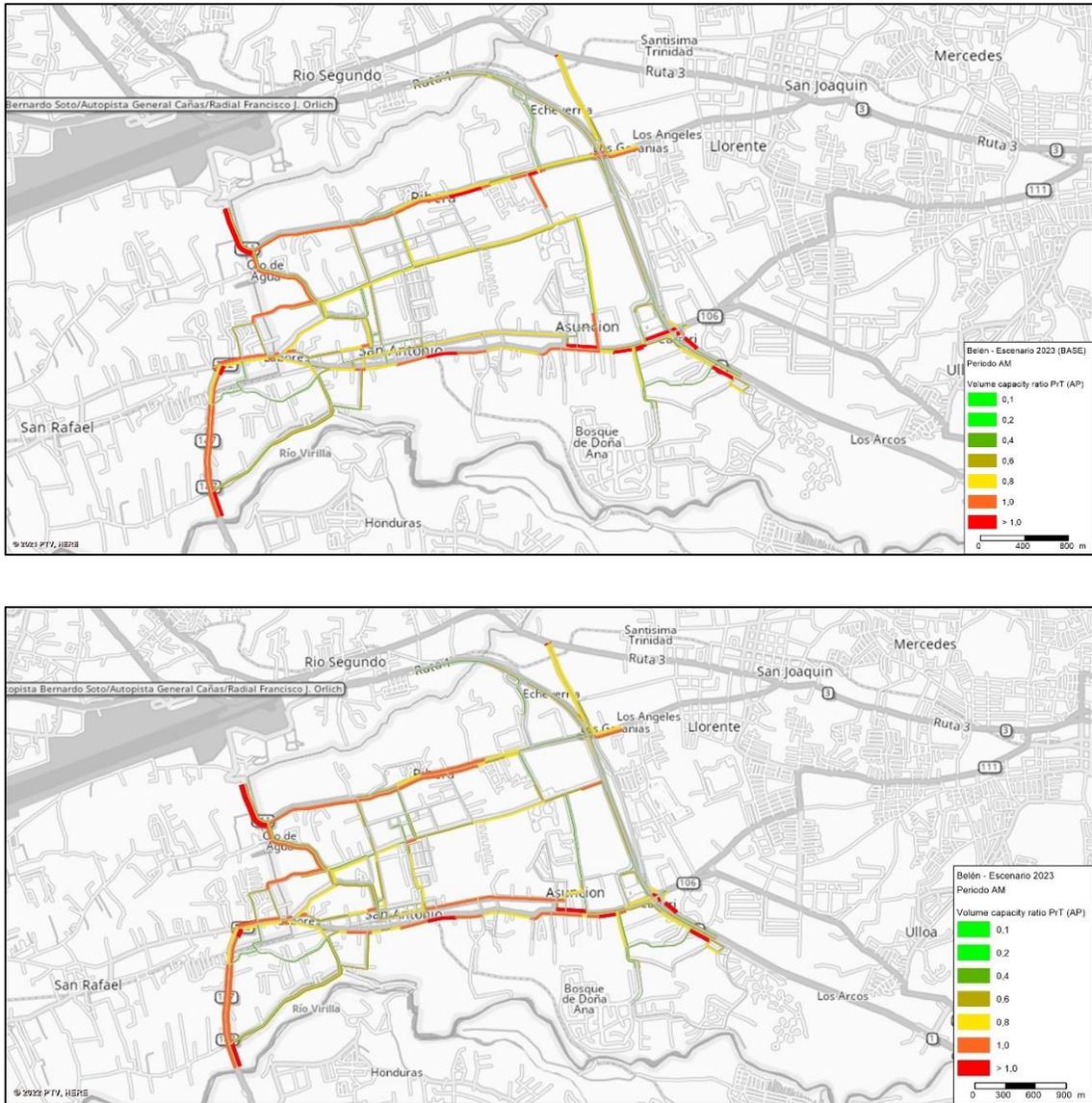


Figura 40. Comparación de Volumen-Capacidad sin y con propuesta, período AM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

Las relaciones V/C que se mostraron anteriormente demarcan como desaparecen ciertos puntos críticos dentro de la red. La desaparición de estos puntos donde se presentan altas demoras para los usuarios se encuentran focalizados principalmente donde se realizaron las principales intervenciones en materia de reordenamiento vial, estos puntos se ven representados básicamente por el Loop de EPA y el de la Firestone donde en este último además se implementa la expansión del túnel que pasa por debajo de la autopista General Cañas (RN1), estas medidas ayudan a disipar las problemáticas existentes en el borde este del cantón de Belén donde existen hoy en día intersecciones como la de la calle La Rivera con la Ruta 129 y la Calle 124 con la misma Ruta Nacional 129, además se puede observar como el Loop propuesto en el sector de EPA ayuda a que exista una mayor fluidez en el sector de La Asunción lo cual resulta beneficioso para los usuarios que día a día transitan en sentido Este-Oeste y viceversa atravesando el cantón así como también a los usuarios que se conectan con la Ruta Nacional 1 en sentido San José gracias a la nueva rampa de la Calle Arbolito como a la conexión entre la Calle 112 y la Calle 104 usando la extensión futura de la Av. 36.

No obstante, y como ya se había mencionado anteriormente se evidencia un incremento de volumen mayoritariamente pasante en sentido Este-Oeste y viceversa que usa las rutas nacionales 129 y 111 para atravesar Belén, esto debido en primera instancia por los cambios de jerarquía que sufrió la calle Arbolito con la implantación de la nueva ciclovía y en segunda instancia al incremento de volumen estimado por las proyecciones realizadas en la matriz y por la implantación de los nuevos desarrollos habitacionales en la zona que generaran un incremento de las relaciones OD de las zonas de transporte. En este mismo orden de ideas se muestra la comparación realizada para el periodo vespertino, el cual como se observa posee mucha similitud con lo expuesto anteriormente.

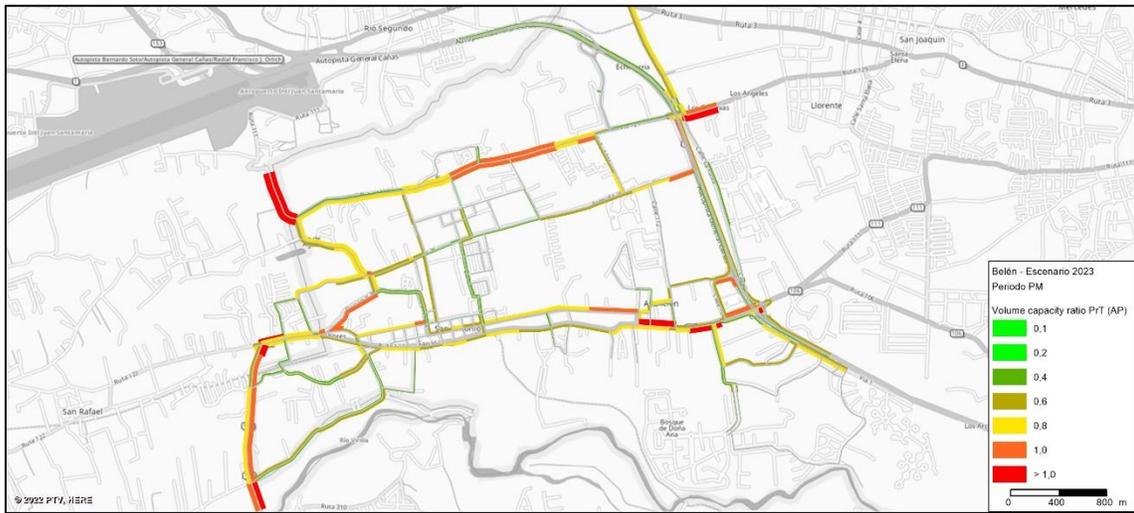
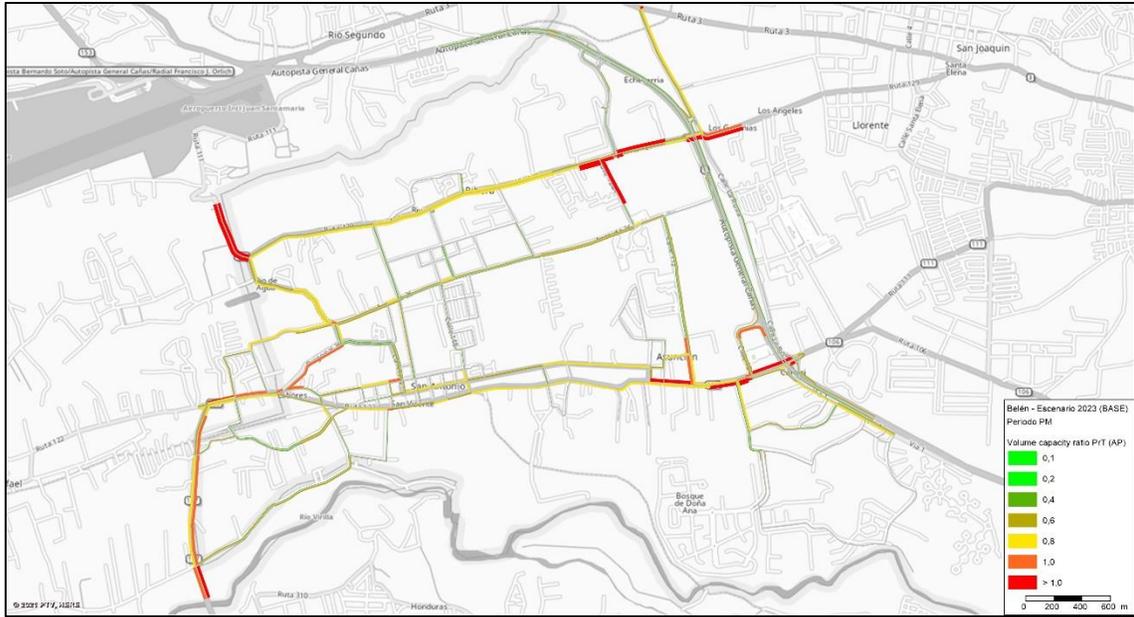


Figura 41. Comparación de Volumen-Capacidad sin y con propuesta, período PM, año 2023
Fuente: IRV S.A.

Como se puede observar, los cambios estructurales en las relaciones V/C se mantienen similares a los abordados en el análisis del periodo matutino, las principales diferencias entre ambos periodos se dan mayormente en los flujos que se obtuvieron en sentido este-oeste por la Ruta Nacional 111 los cuales presentan una disminución en su intensidad con respecto al periodo matutino, conllevando a una disminución de las relaciones V/C obtenidas. Otra diferencia que puede ser sustancial es la disminución de las relaciones V/C en la traza de la

Ruta Nacional 129, específicamente en el sector centro y noroeste del cantón, lo que denota una menor incidencia de usuarios en el sector.

3.5.2 Año 2031, con propuesta

En este punto se aborda el análisis funcional de la red vial del cantón de Belén, que se obtuvo luego de insertar la matriz de viajes estimada para este horizonte temporal de 2031 y de realizar los cambios de geometría y direccionalidad previstos para este escenario de análisis. Respecto a esto último y en concordancia con lo comentado en el punto 3.4. La Figura 42 muestra la configuración de carriles de circulación prevista para este escenario. Es notable el cambio de cantidad de carriles en la sección de la Ruta Nacional 111 que hará parte del Loop del sector de EPA, cambia de una configuración de 2 carriles por sentido en 2023 a 4 carriles solo en sentido oeste-este en 2031.

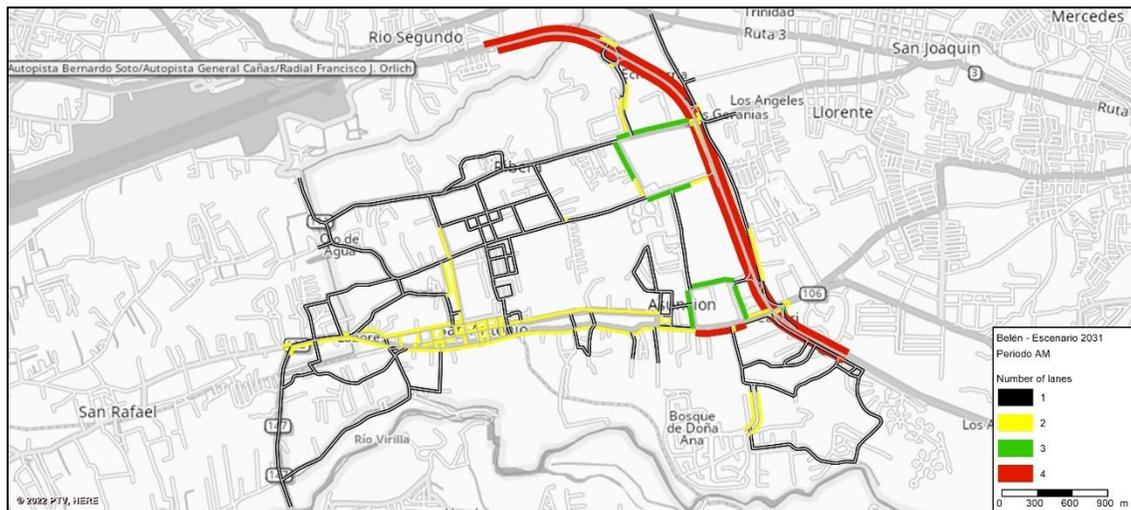


Figura 42. Cantidad de carriles de la modelación propuesta. año 2031
Fuente: IRV S.A.

Luego de la inserción de la nueva demanda representada por la matriz OD estimada para el año 2031 y los cambios de direccionalidad y geometría previstos dentro de la configuración de este escenario, se procedió a realizar las corridas respectivas para que el modelo de asignación y enrutamiento vehicular nos diera razón de

las condiciones de operación de la red vial. Tal como se mostró para el escenario anterior, los niveles de análisis van desde las figuras donde se muestra la red vial con la intensidad de volumen por arco para pasar luego a los análisis donde se aprecian los cambios de volumen dentro de la red para cada uno de los arcos en comparación a la red sin cambios de geometría y funcionalidad para que de esta forma se puedan evidenciar donde la red está ganando y perdiendo tránsito vehicular. En las siguientes figuras se muestran las asignaciones de volumen dentro de la red para los modelos AM y PM respectivamente.

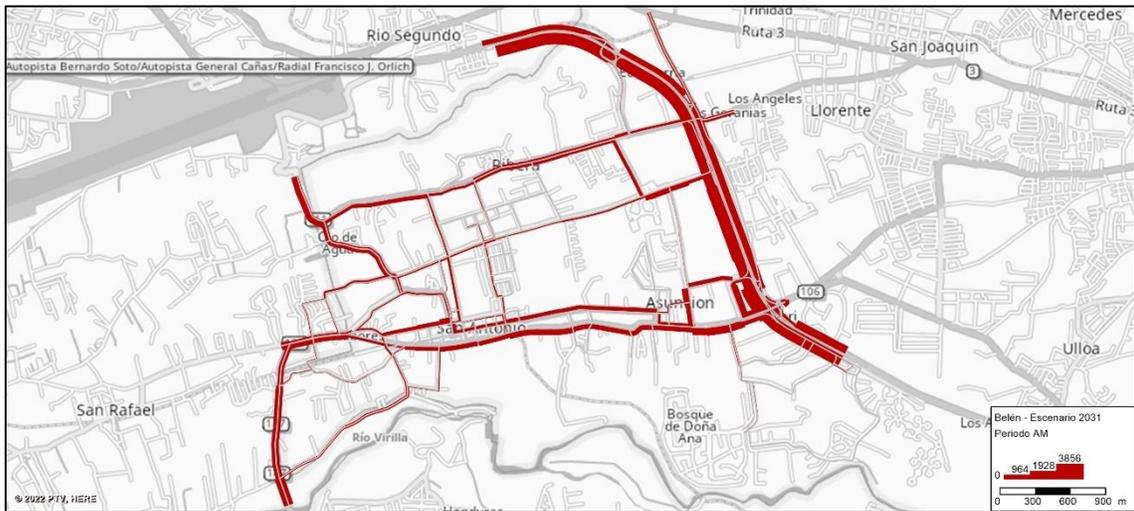


Figura 43. Volumen del modelo de red vial, periodo AM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

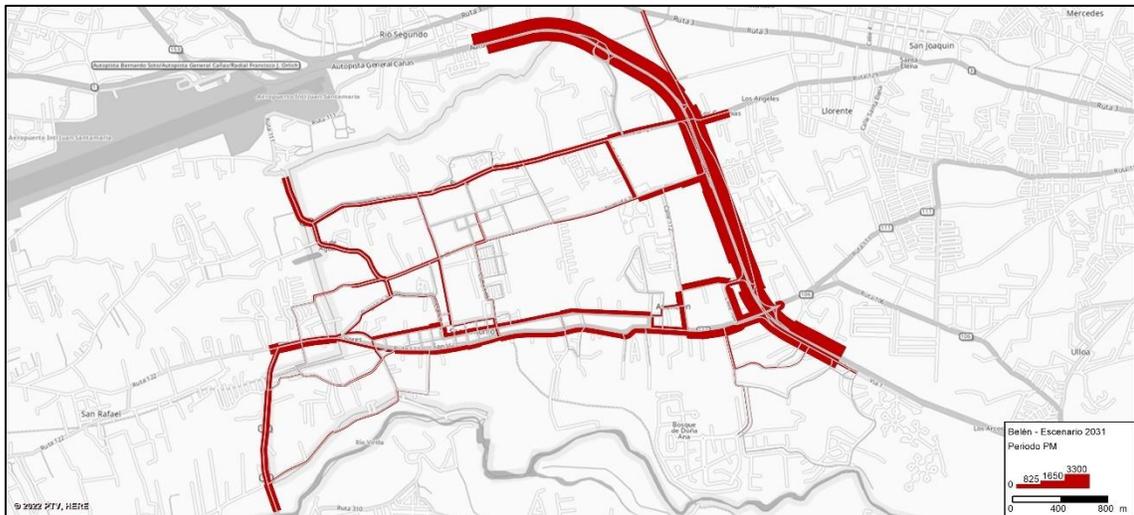


Figura 44. Volumen del modelo de red vial, periodo PM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

Luego de un análisis se tiene que al igual como lo anteriormente analizado, la red del cantón aun respeta una dinámica estructural de movimientos acorde con los escenarios anteriores, se observa como la Autopista General Cañas es la que más participa dentro de la mancha de asignación con una clara dinámica de conectividad norte-sur dentro del cantón (mayormente viajes pasantes) y también como en este caso se observan intensidades más marcadas en los “Loop” propuestos dentro del área de estudio, los cuales como se había comentado anteriormente disipan la mayoría de los puntos de intersecciones conflictivas dentro del cantón. En las siguientes figuras se muestran los análisis de diferencia volumétrica para determinar según gamas de colores e intensidad de las barras, como se dan las dinámicas de derivación de tránsito dentro de la red.

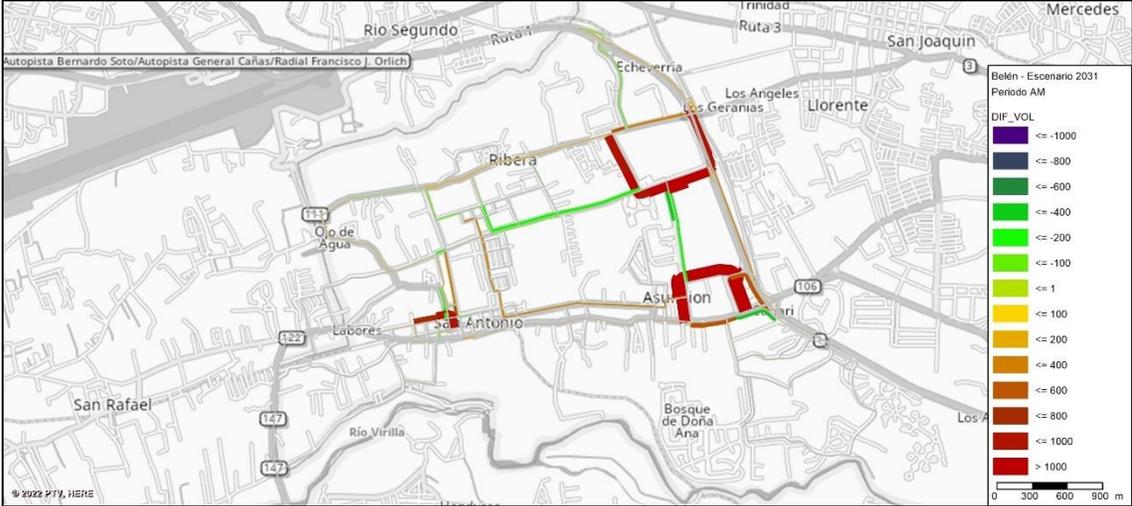


Figura 45. Diferencia de volúmenes respecto a la situación sin propuesta, período AM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

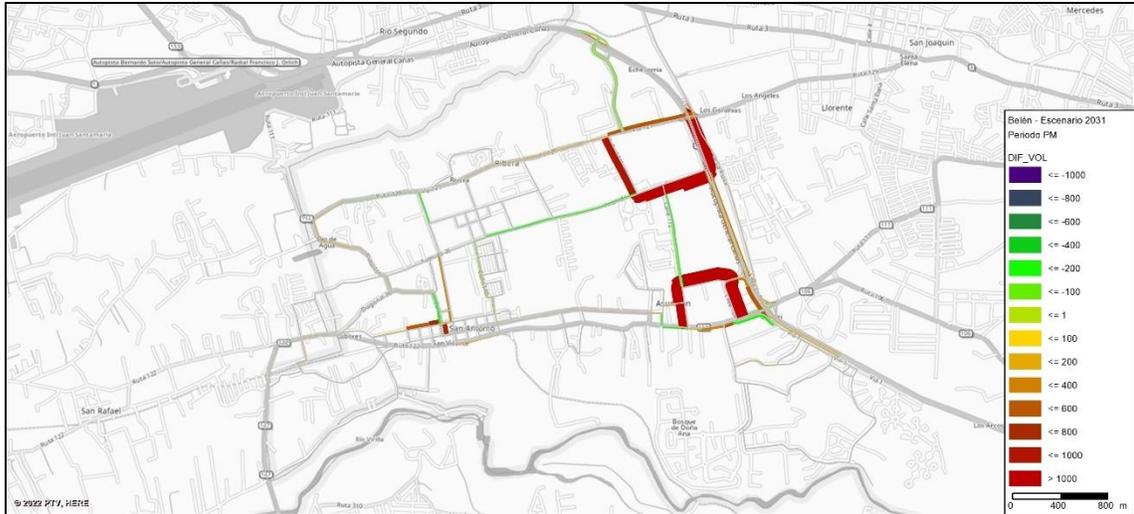


Figura 46. Diferencia de volúmenes respecto a la situación sin propuesta, período PM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

Como se muestra y tal como era de esperarse, los “Loop” dentro del área de estudio son los que más carga de tránsito reciben, esto debido a la evidente funcionalidad en cuanto a la conectividad direccional que poseen uno de otro, proporcionando mayores capacidades para atender al tránsito automotor que transita en el sector y disminuyendo los cuellos de botella que existían anteriormente. De igual forma también es notable que la calle Arbolito pierde tráfico, generando derivaciones hacia las rutas nacionales de los viajes pasantes en sentido este-oeste y viceversa. De igual forma también se puede observar una relación importante de tránsito que ahora usa la Calle 1 y la Calle Las Américas que va desde el centro de Belén hasta la intersección con la calle Arbolito para conectarse en sentido norte-sur con dicha calle. En las siguientes figuras se muestran las relaciones V/C obtenidas en dicha red.

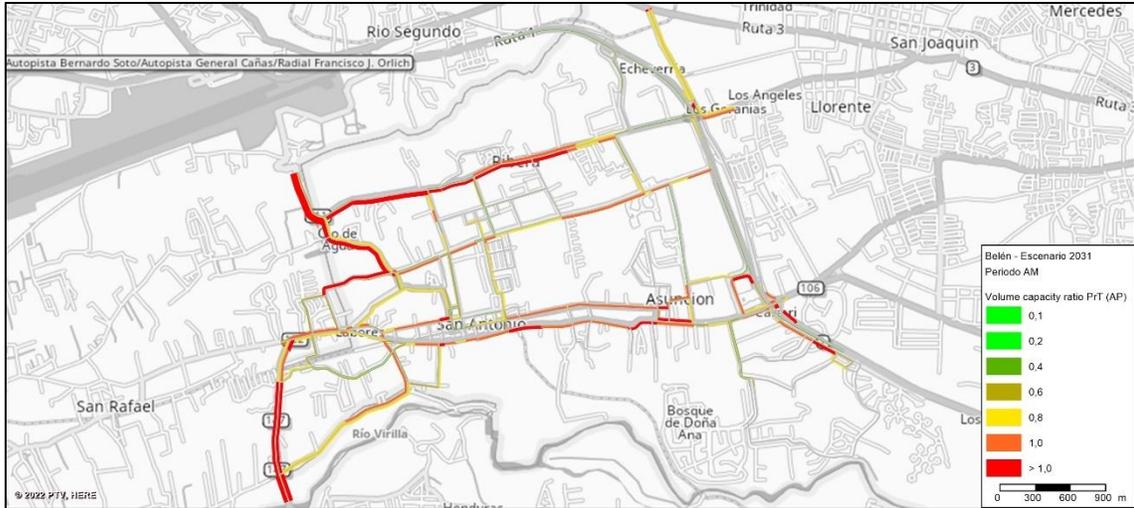


Figura 47. Volumen-Capacidad con propuesta, período AM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

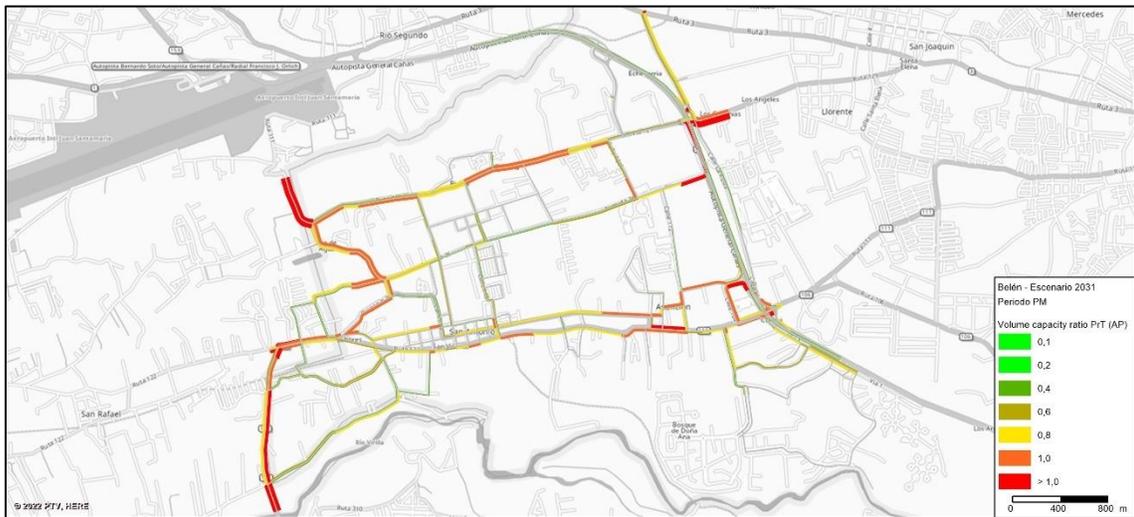


Figura 48. Volumen-Capacidad con propuesta, período PM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

Es notable como el incremento de tránsito previsto para el año 2031 genera mayores relaciones V/C, donde se observan de color rojizo algunos trazados viales como la Ruta nacional 129 entre la intersección con la ruta 111 (que va en sentido hacia el aeropuerto) y el sector donde se encuentra emplazada la empresa Intel (sentido

oeste-este), no obstante estas relaciones críticas se ven durante el periodo pico AM ya que en el periodo vespertino estas relaciones caen a niveles más estables de fluidez vehicular.

El incremento de volumen vehicular también se hace sentir en los bordes del cantón donde colinda con la Autopista General Cañas, esto debido a la mayor cantidad de usuarios que se estiman para 2031. De forma consecuente con lo expuesto anteriormente, se muestra en las siguientes figuras las velocidades estimadas para este horizonte temporal.

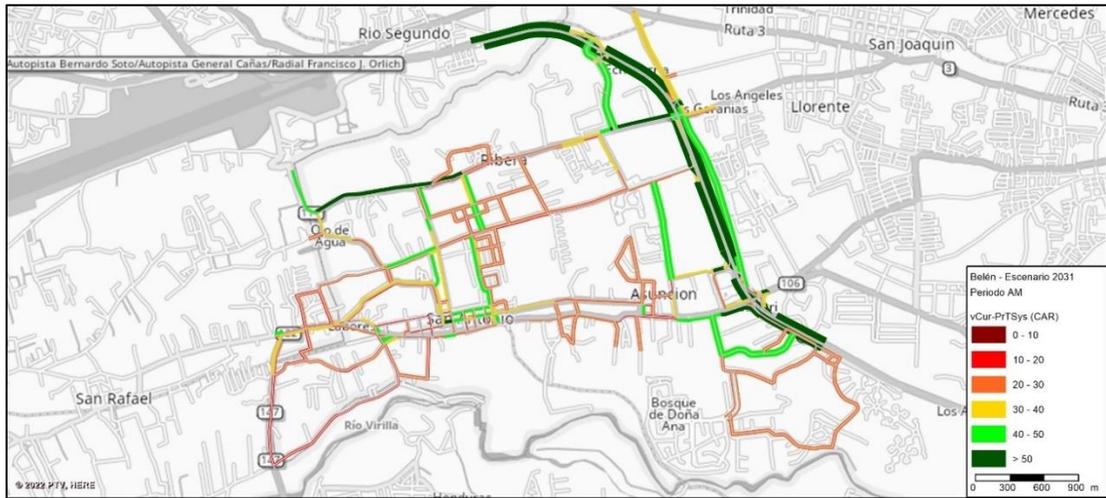


Figura 49. Velocidad con propuesta, período AM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

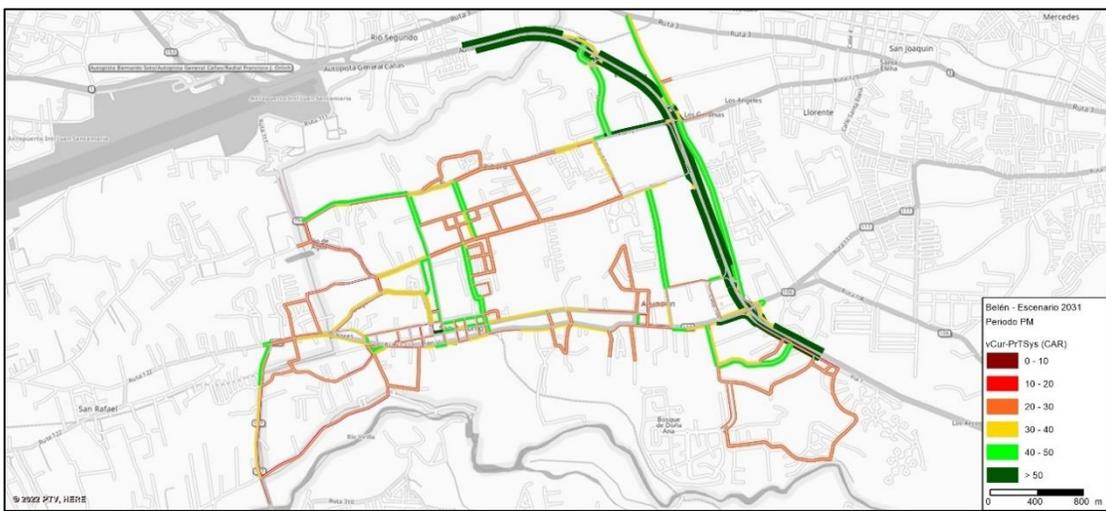


Figura 50. Velocidad con propuesta, período PM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

Como era de esperarse, las velocidades guardan una fuerte correlación con los indicadores de V/C obtenidos anteriormente, lo cual hace notar que los puntos más inestables pueden presentarse en las inmediaciones de las salidas en el sector este del cantón revelando la dependencia de este con la funcionalidad y alta conexión que brinda la Autopista General Cañas para la conexión de los viajes pasantes proveyendo al cantón una conectividad con los principales polos atractores de viajes en la región metropolitana de San José.

3.5.2.1 Comparación sin propuesta y con propuesta Año 2031

Al igual que en el escenario anterior, a continuación, se muestran las figuras con las comparaciones de los escenarios modelados para el año 2023 sin y con propuestas de reordenamiento vial y geometría.

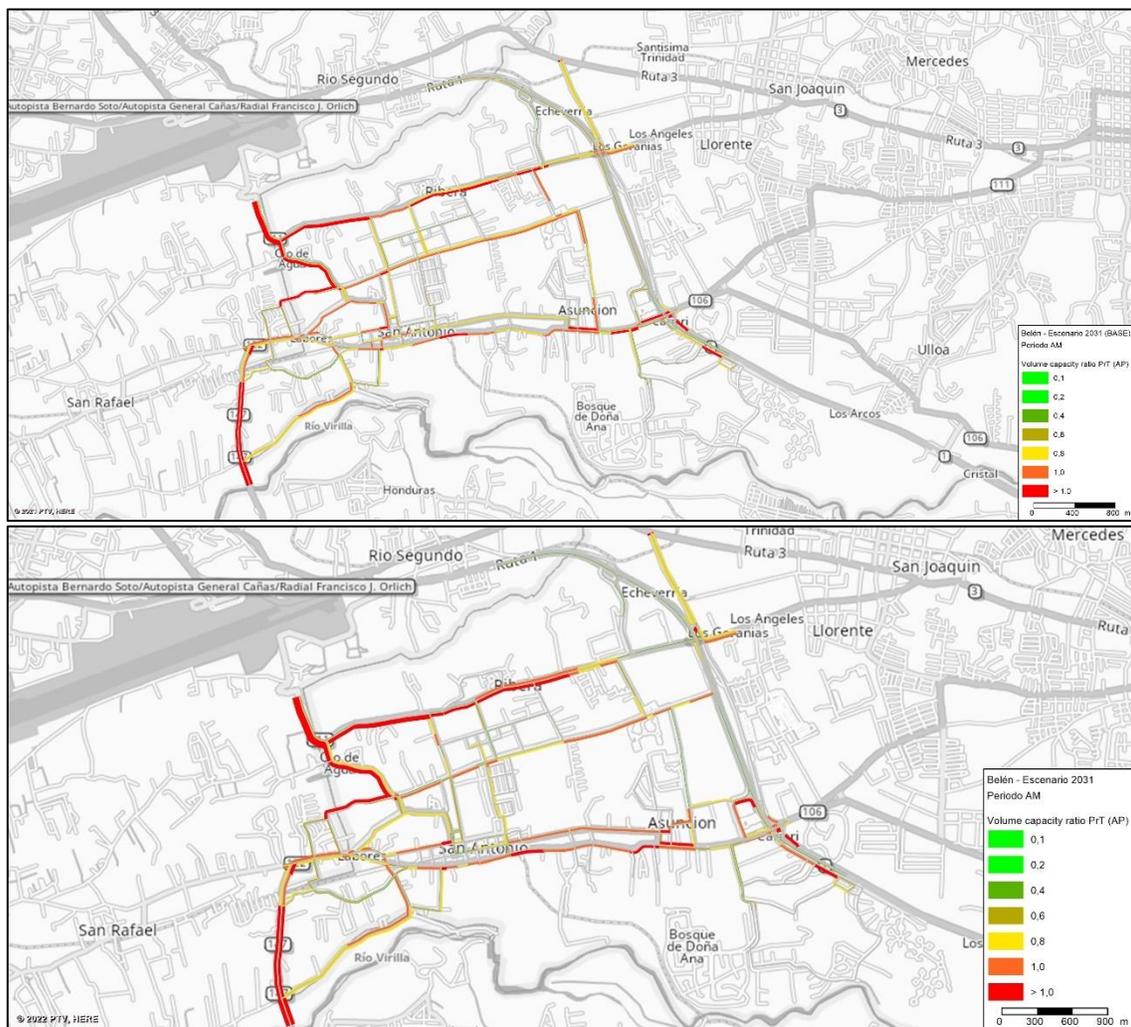


Figura 51. Comparación de Volumen-Capacidad sin y con propuesta, período AM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

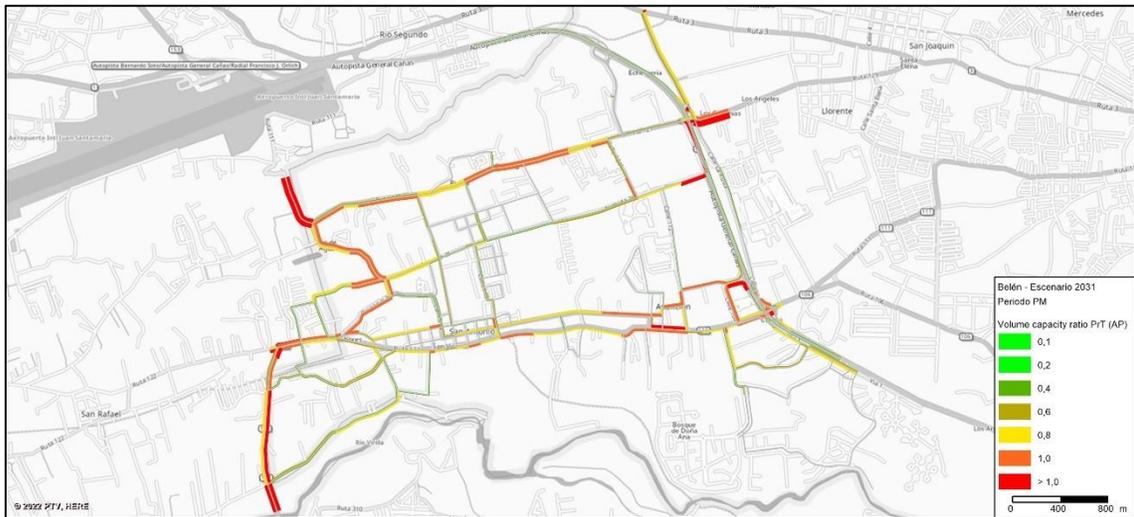
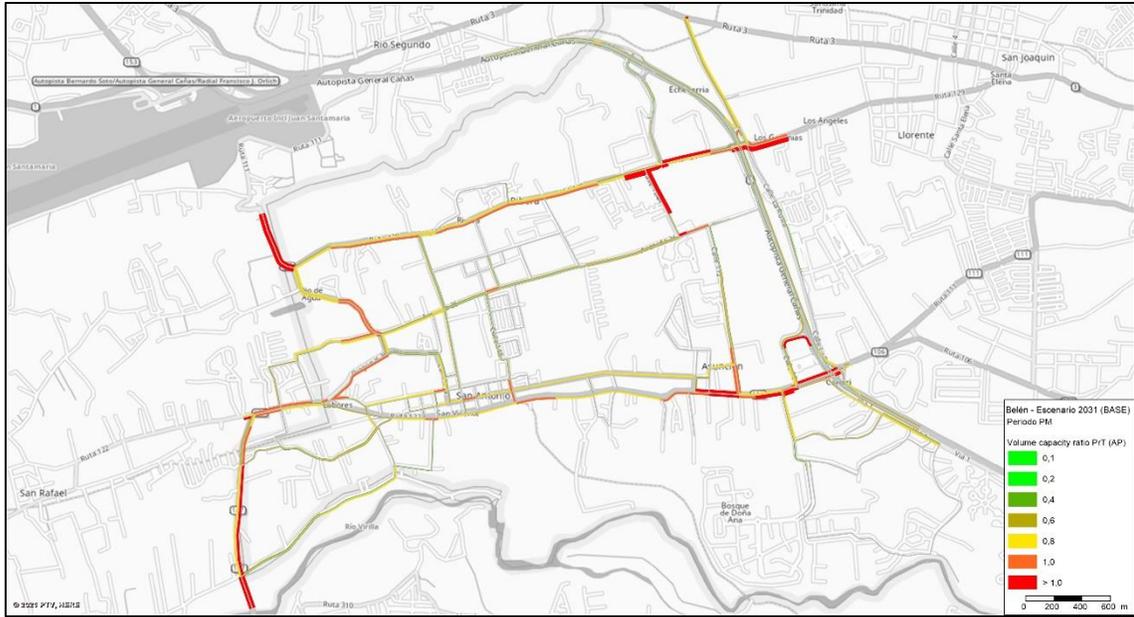


Figura 52. Comparación de Volumen-Capacidad sin y con propuesta, período PM, año 2031
Fuente: IRV S.A.

Al igual que en los escenarios previstos para 2023, se observan claramente cómo se eliminan nodos conflictivos en la red, que actualmente poseen complicaciones y altas demoras de tránsito vehicular, el espacio se ve aprovechado de una mejor forma con la implementación de los “Loop” viales que reordenan el tránsito vehicular del cantón específicamente en las adyacencias a la Ruta Nacional 1, no obstante el crecimiento vehicular estimado para la red del cantón durante el año 2031 hace que existan diversos focos donde se opera

con niveles de inestabilidad vehicular, pudiéndose presentar demoras en sectores como Panasonic y el área del centro comercial La Ribera. Estas condiciones de tránsito deben ser evaluadas con modelaciones microscópicas para poder abordar las problemáticas desde un punto de vista operacional, esto debido a que a nivel estratégico resulta ser una tarea dificultosa, tardada y poco aproximada a la incorporación de propuestas que generen mejores operativas a nivel microscópico por ejemplo a nivel de semaforización y coordinación de estos.

4 CONCLUSIONES

- El cantón de Belén se encuentra situado en el sector noroeste del área metropolitana de San José y posee una red vial que conecta con importantes localidades como lo es Heredia, San Rafael y Alajuela. La gran presencia del corredor troncal definido por la Ruta Nacional N°1 (autopista General Cañas) y rutas nacionales como la 111, 122 y 129 (estas últimas con características más de distribuidoras principales), hace que el cantón de Belén se convierta en una verdadera zona de interconexión de viajes que buscan distribuirse por todo el sector noroeste de la región metropolitana. Estas características y la propia presencia de sectores industriales con empresas multinacionales hacen que sea determinante generar una planificación estratégica a nivel vial que aborde, con horizontes temporales bien definidos, un plan de gobernanza que ayude a salvaguardar el óptimo desplazamiento de los usuarios por el sector del cantón.
- La utilización de herramientas de modelación a nivel macroscópico ayudó a la caracterización y al diagnóstico de las condiciones operacionales que hoy en día existen dentro del área de estudio, la cual posee un área de poco más de 12 km² y que está representada mayormente por vías longitudinales de gran preponderancia tanto para los viajes de carácter “pasante” (que vienen y van hacia otros sectores pero pasan por el cantón) como para los propios viajes internos de los sectores con características más residenciales (sector este del área de estudio) hacia los polos más atractores de viajes (sector oeste del área de estudio o zona franca).

- Es importante recalcar la obtención de la matriz actual, a partir de los relevamientos de campo mediante encuestas vehiculares para obtener los pares de viajes origen-destino, que luego por medio del factor de expansión, se obtuvo la matriz base, y finalmente, junto con los conteos vehiculares relevados en varias intersecciones importantes, se procedió con el uso del algoritmo de estimación matricial incluido en PTV VISUM con el fin de obtener la matriz base actual para continuar con el modelo en el PTV VISUM.
- La utilización de PTV VISUM como herramienta de análisis ayudó a determinar que la red actual del cantón posee evidentes puntos de conflictos que se dan mayoritariamente en las cercanías con la RN 1, la cual sirve como principal conexión hacia el centro de la ciudad de San José. De esta forma se detectaron puntos como el túnel de la RN 129 que pasa por debajo de la RN 1 en el sector de la “Firestone” y las intersecciones entre la ruta 129 con la intersección de la calle 124 y la calle La Ribera en el sector de “Intel” los cuales resultan ser los más conflictivos dentro del cuadrante noreste del área de estudio, teniendo relaciones V/C cercanas a 1 y que en ocasiones sobrepasan este valor, evidenciando de esta manera que en la actualidad existen altas demoras vehiculares por la alta cantidad de demanda que busca interconectarse con los sectores de Alajuela y San José, usando la RN 1 y con el sector de Heredia, mediante la RN 129.
- Otro de los puntos con mayores conflictos detectados a nivel estratégico es el de la intersección de la RN 111 con la Autopista general Cañas (RN 1) la cual posee relaciones V/C cercanas a 1 y que llega a afectar los sectores de “EPA” debido a la gran cantidad de usuarios que intenta salir e ingresar al cantón por la RN 1. Por su parte el sector de la “Panasonic”, específicamente en la intersección de la RN 122 y la RN 147 genera grandes demoras por la alta demanda vehicular y la complejidad de la propia intersección que conllevan a generar longitudes de colas que llegan a afectar las intersecciones cercanas entre la RN 122 y la calle Flores en el sector de San Antonio.
- De esta forma se obtiene que la red actual estudiada del cantón, presenta características de congestión que se dan principalmente en las puertas de acceso al área de estudio por lo que

a partir de la recopilación de información sobre estudios de mitigación y generación de propuestas se determinó evaluar configuraciones de circulación vehicular que ayuden potenciar la capacidad actual de la red, realizando cambios en los sentidos de circulación e implementando “Loops” viales que funcionen con características de pares viales interconectados para mejorar la fluidez del tránsito en sectores como “EPA” y la “Firestone”, evaluando estos con el software PTV VISUM para generar evaluaciones de desempeño que ayudaran a determinar a nivel estratégico las condiciones de operación futuras definiendo horizontes temporales para 2023 y 2031.

Esto último se logró proyectando la matriz actual (obtenida a partir de los relevamientos de campo y el uso del algoritmo de estimación matricial incluido en PTV VISUM) con la ayuda de los conteos vehiculares existentes en las rutas nacionales del sector y evaluando sus curvas logísticas para proyectar los volúmenes de tránsito y a su vez, también detectando las principales zonas residenciales comerciales que podrían generar y atraer viajes para agregar las estimaciones de tránsito futuro a la matriz de viajes.

De esta forma se realizaron los cambios y se corrieron los modelos futuros con y sin propuestas para recabar los indicadores de operación y generar las comparaciones pertinentes tanto con los escenarios actuales AM y PM, así como también con los escenarios futuros para que se obtuvieran los indicadores pertinentes.

- De los cambios realizados se determinó que si bien la estimación de tránsito para los horizontes de 2023 y 2031 poseen una importante tendencia creciente (2% para el 2023 y 18% para el 2031 respecto al 2021), la red vial con las propuestas descritas se ajusta mejor a las condiciones futuras, permitiendo mejorar las relaciones V/C que fueron detectados durante el análisis del escenario actual. Por lo que se entiende que con las propuestas de cambios estructurales, la red puede obtener mejores prestaciones operacionales, disminuyendo la cantidad de focos conflictivos y ayudando a mantener niveles de tránsito más estables.

5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda generar análisis a nivel microscópico que permita definir operacionalmente las condiciones de las propuestas planteadas a nivel estratégico y a su vez poder incluir de forma más detallada factores relacionados con la geometría y el control de las intersecciones del sector, con indicadores de desempeño como niveles de servicio. Entre los puntos principales se recomienda analizar la intersección de la ruta 147 con la ruta 122 por la Panasonic, así como el Loop propuesto por EPA.
- En los resultados con proyección 2031 se observó el impacto en la vialidad generado por los proyectos futuros, entre estos: Condominio Residencial El Cafeto (152 unidades habitacionales); CORBEL III (La Ribera Business Hub, 6 torres de oficinas para uso corporativo) y CONCASA (694 unidades habitacionales, frente rutas 129 y 111). Por tanto, se recomienda analizar de forma exhaustiva el estudio de impacto vial respectivo y las medidas de mitigación propuestas.
- Los resultados arrojaron que, a pesar de las propuestas que mejoran en cierta medida la capacidad de las vías en el cantón, hay vías que se encuentran cerca de la capacidad en ciertos períodos como las rutas 129, 111 y Avenida 2, lo cual a nivel estratégico es adecuado porque se liberan vías de jerarquización local como Calle Arbolito. No obstante, también deja en evidencia la importancia de realizar esfuerzos para generar vías alternas a aquellos viajes externos o de paso. Por tanto, a partir de la línea base obtenida en el presente análisis macroscópico de la red vial del cantón de Belén, se recomienda ampliar la zona de estudio para incluir proyectos como la conexión de la ruta 147 (Lindora) con la RN1, la ampliación de la ruta 147 y la ampliación de la RN1.
- En línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), principalmente el objetivo 11 que consiste en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, se recomienda jerarquizar a la calle Arbolito como una vía local, es decir, de baja velocidad, orientada hacia la seguridad de los usuarios vulnerables y con restricción de pesados claramente definida. Esto se logra mediante medidas de pacificación como aceras anchas,

arborización, reducción de los anchos de carril, implementación de ciclovía y vías compartidas con bicicletas, entre otras. Por tanto, se recomienda realizar un proyecto enfocado en Calle Arbolito.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Balsells, Jordi (2005). **“Diseño de Aparcamientos Urbanos”**. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Dirección General de Ingeniería y Tránsito. **“Guía para la Elaboración de un estudio de Impacto Funcional y Seguridad Vial”**, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Costa Rica, 2021.
- Duran Ortiz, Mario Roberto. **“Manual de Capacidad de Carreteras 1985: Experiencia y Validez en Costa Rica”**, en Memoria del Tercer Congreso de Ingeniería del Transporte, Asociación de Ingeniería de Transporte, CFIA: San José, 1990, pp. 210-238.
- Ingeniería en Relevamientos Viales S.A. (IRV S.A. 2019). **“Estudio de Asignación de Tránsito Privado”**, Buenos Aires, Argentina.
- Magaña, Javier (2014). **“Determinación de patrones típicos de distribución temporal de tránsito en Costa Rica”**. Universidad de Costa Rica.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. MOPT. **“Anuario de Información de Tránsito 2015”**. Disponible en: <http://www.mopt.go.cr/planificación/carreteras/AnuarioTr%C3%A1nsito2015.pdf>
- San Diego Municipal Code. **“Trip Generation Manual”**, Land Development Code, San Diego California, 2003
- SIECA. **“Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito”**, Primera Edición, Ciudad de Guatemala, 2000.
- Transportation Research Board. **“Highway Capacity Manual: 2000”**, Special Report 209, Washington, D. C., 2000.
- Transportation Research Board. **“Highway Capacity Manual: 1994 Update”**, Special Report 209, Washington, D. C., 1994.
- SIECA. **“Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial”**, Tercera Edición, Ciudad de Guatemala, 2011.
- AASHTO. **“A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”**, Sixth Edition, Washington, D. C., 2011.



7 ANEXOS

Instructivo - Encuestas Origen y Destino de Viajes

INSTRUCTIVO - ENCUESTAS ORIGEN y DESTINO DE VIAJES con formulario

INSTRUCCIONES GENERALES

1. Ubicación y horario de las encuestas

Se realizarán encuestas de interceptación vehicular en 13 sitios ubicados dentro de la red vial de Belén. Los mismos serán indicados por la coordinación del estudio con anticipación.

Para su desarrollo se contará con apoyo de personal policial de tránsito que orientarán los vehículos al lado del camino, donde se encontrará el encuestador. El encuestador contará con un lapso de 5min tal que le permita realizar la toma de información a ser suministrada por el conductor en una encuesta cara a cara.

Las tareas de recolección de información se realizarán en dos turnos: 6 a 9 hs y 15.30 a 18.30 hs.

2. Objetivos de la encuesta

- Conocer los desplazamientos de las personas que utilizan transporte privado (vehículos livianos y pesados) en la red vial de Belén.
- Conocer el origen y destino de los desplazamientos, los motivos de viaje y frecuencia de realización de viajes dentro de la semana.
- Desarrollar matrices de viajes observados del escenario base (situación actual). Esas matrices constituyen el insumo principal para calibrar los modelos de demanda.

3. Tipos de vehículos a encuestar

El transporte privado a censar comprende los siguientes tipos de vehículos:

- Vehículos livianos: automóvil, carga liviana (pick up),
- Vehículos de carga pesada (dos ejes, tres ejes, cuatro ejes, cinco ejes o más).

No se considerarán las bicicletas, ni taxistas formales o informales (porteadores o piratas).

4. Equipamiento del encuestador

Cada encuestador contará con un kit compuesto de los siguientes elementos: 1 credencial, 1 chaleco de seguridad, 1 planillero, 2 lapiceras, formularios de encuesta.

Cada día el encuestador deberá acceder al sitio de trabajo con los elementos entregados en condiciones. En caso de no contar con elementos en condiciones deberá avisar al supervisor con anticipación.

5. Identificación del encuestador

Todo el personal de relevamientos deberá llevar en forma visible un carné de identificación y su chaleco de seguridad colocado durante toda la toma de encuestas.

El carné contendrá el nombre y logo de las empresas, nombre y número de cédula de la persona, fotografía clara del rostro de la persona.

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA ENCUESTA ORIGEN Y DESTINO

La encuesta se realizará en forma verbal y será registrada mediante el llenado de un formulario.

6. Antes de iniciar las encuestas

Antes de iniciar cada encuesta se completará el encabezado y la sección 1 del formulario entregado, con la información presentada a continuación.

6.1. Encabezado de la Encuesta

A continuación, se presenta el encabezado del formulario y su forma de llenado.

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO DE VIAJES BELEN

* 1. Entrevistador:

* 2. Supervisor:

Arturo Carmona Castro

Otro (especifique)

* 3. Sitio N°:



Sig.

El encabezado contiene los siguientes datos generales:

- **Entrevistador:** Nombre de la persona que realiza la entrevista.
- **Supervisor:** Nombre de la persona encargada de supervisar las labores de campo durante el desarrollo de las entrevistas.
- **Número de sitio:** Corresponde al número de sitio en donde se realiza la entrevista. Este dato deberá ser solicitado al superior de las tareas.
- **Sentido Hacia:** En este espacio se registra el punto cardinal hacia el cual se dirige el flujo vehicular. Este dato deberá ser solicitado al superior de las tareas para mantener uniformidad del estudio.

6.2. Sección 1

A continuación, se presenta la sección 1 del formulario y su forma de llenado.

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO DE VIAJES BELEN

* 5. Fecha y Hora: (ejemplo: 29/ Abril/ 13:00 hrs)

Fecha/Hora:

Fecha Hora a. m./p. m.
DD/MM/AAAA hh : mm -

* 6. # Placa:

* 7. N° de Pasajeros:

* 8. Tipo de Vehículo:

- 1. Auto
- 2. Carga Liviana
- 3. Carga Pesada



Ant. Sig.

Inmediatamente después de la separación del vehículo al cual se realizará la encuesta, y antes de comenzar a hablar con el conductor, el encuestador registrará la siguiente información:

- **Fecha:** Fecha en que se realiza la entrevista (coincide con la fecha del viaje).
- **Hora:** Hora y minutos de realización de la encuesta.
- **N° de Placa:** se registrará el N° de placa del vehículo que va a encuestar. Deberá reportar los números y letras de la placa tal como aparecen en el vehículo. Tener en cuenta que el vehículo puede ser extranjero y tener otro tipo de patente.
- **Tipo vehículo:** Vehículos de transporte privado sin incluir bicicletas ni taxistas informales.
 - o 1. **Automóvil:** Vehículo liviano de tracción sencilla o doble, construido para movilizar personas. Incluye los siguientes tipos: sedán, coupé, panel, station wagon, minivan y

vehículo utilitario deportivo. Su capacidad oscila entre 4 -7 personas. Transporte principalmente de pasajeros.

- 2. **Vehículo de carga liviana:** Pick-up liviano con capacidad máxima de 2 toneladas y que cuenta con espacio para transportar sentadas de 2-5 personas. Se deben incluir los pick-up con alguna estructura modificada sobre la zona trasera de carga.
- 3. **Vehículo de carga Pesada:** camión o vehículo motorizado para transporte de bienes. Los camiones cuentan con una parte conocida como ‘cabina’ en la cual se ubica el conductor y sus acompañantes. La parte trasera del camión es aquella en la que se coloca la carga y puede variar en tamaño, forma y diseño. Estos vehículos poseen dos o más ejes; es usual que posean al menos un eje dual o un eje tándem en la parte trasera.

En el caso de este tipo de vehículos, se deberá **reportar el número de ejes** que posee el vehículo, según la siguiente clasificación:

- **Camión dos ejes:** camiones y vehículos turísticos que tienen dos ejes, de los cuales el eje trasero es un eje dual.
 - **Camión tres ejes:** camiones que tienen tres ejes
 - **Camión cuatro ejes:** vehículos de cuatro ejes, sean o no articulados
 - **Camión cinco ejes o más:** vehículo con cinco o más ejes, compuesto de dos unidades articuladas, una de las cuales es un cabezal.
- **Nº pasajeros:** Reportar la cantidad de pasajeros que viajan en el vehículo incluido el conductor.

Luego se comenzará con la encuesta en sí:

7. La encuesta.

7.1. Para iniciar la encuesta, hay que presentarse y explicar en forma breve la misma.

- a. Introducción: *Buenos días / Buenos tardes!* Mi nombre es _____.
- b. Objetivo: Estamos interesados en conocer su viaje para un estudio realizado por la Municipalidad de Belén que tiene como objetivo estimar los desplazamientos de las personas que usan transporte privado dentro del cantón.
- c. Explicación: Es una encuesta muy rápida – dura aproximadamente 2 minutos.

7.2. Sección 2

Las preguntas y respuestas se harán con el formato “cara a cara” completando el formulario entregado. A continuación se explica la forma de completar el mismo.

1. ORIGEN DEL VIAJE. ¿De qué lugar viene usted? Se pretende registrar con detalle la ubicación del lugar que constituye el origen o inicio del viaje realizado.

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO DE VIAJES BELEN

* 9. ¿De qué lugar (Provincia) viene usted (Origen)?

- San José
- Alajuela
- Cartago
- Heredia
- Otro (especifique)



Ant. Sig.

Este lugar está referido a donde comenzó el origen de la actividad que dió motivo al viaje. Por ejemplo, si va desde la casa (actividad origen) al trabajo (actividad destino), el origen del viaje es la casa.

Se deberá registrar con la mayor precisión posible la **provincia, cantón, distrito, barrio, hito, dirección**. Además, se deberá registrar la dirección exacta del lugar ya sea por calles y avenidas o desde algún punto de referencia claramente identificable (hito), en caso de no ser posible consultar por el barrio. Si el punto de referencia es una institución o negocio que posee varias sucursales u oficinas, se debe mencionar con claridad a cuál corresponde, para evitar errores en la ubicación correcta de este punto.

2. DESTINO DEL VIAJE. ¿Hacia qué lugar se dirige? Se pretende registrar con detalle la ubicación del lugar que constituye el destino o sitio final del viaje que está realizando.

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO DE VIAJES BELEN

* 15. ¿Hacia qué lugar (Provincia) se dirige (Destino)?

- San José
- Alajuela
- Cartago
- Heredia
- Otro (especifique)



Ant.

Sig.

Este lugar está referido a donde finalizará el viaje, con la actividad destino que dió motivo al viaje. Por ejemplo, si va de la casa al trabajo, la ubicación a identificar es la del trabajo.

Se deberá registrar con la mayor precisión posible la **provincia, cantón, distrito, barrio, hito, dirección**. Además, se deberá registrar la dirección exacta del lugar ya sea por calles y avenidas o desde algún punto de referencia claramente identificable (hito), en caso de no ser posible consultar por el barrio. Si el punto de referencia es una institución o negocio que posee varias sucursales u oficinas, se debe mencionar con claridad a cuál corresponde, para evitar errores en la ubicación correcta de este punto.

3. MOTIVO O PROPÓSITO DEL VIAJE. ¿Cuál es el motivo de este viaje? Se pretende conocer el propósito o motivo del viaje realizado por el conductor en el momento en que es aplicada la entrevista origen destino.

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO DE VIAJES BELEN

* 21. ¿Cuál es el motivo de este viaje?

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="radio"/> 1. Va al trabajo | <input type="radio"/> 4. Estudio | <input type="radio"/> 7. Social/Recreación |
| <input type="radio"/> 2. Viene del trabajo | <input type="radio"/> 5. Salud | <input type="radio"/> 8. Acompañar |
| <input type="radio"/> 3. Está trabajando | <input type="radio"/> 6. Compras/Trámites | <input type="radio"/> 9. NR |
| <input type="radio"/> Otro (especifique) | | |

* 22. Solo completar en caso de ser camión pesado

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Vacío | <input type="radio"/> Cargado | <input type="radio"/> NA |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|

En el caso que el encuestado no comprenda a qué se refiere por motivo o actividad, léerle las opciones que figuran en el formulario para que opte por alguna de ellas. Las mismas son:

- **Va al trabajo:** Si el conductor se dirige a desarrollar su ocupación, la cual le genera ingresos económicos. En el caso de que el conductor lleve primero a sus hijos a su centro de estudio antes de dirigirse al trabajo y sea interceptado en un tramo de carretera posterior al centro de enseñanza, se deberá registrar como zona de origen del viaje el centro educativo, el destino será el lugar de trabajo y el motivo o propósito de viaje es el trabajo.
- **Viene del trabajo.** Si el conductor viene de desarrollar su ocupación, la cual le genera ingresos económicos.
- **Está trabajando:** Si el conductor se encuentra desarrollando su ocupación al momento de realizar la entrevista, por la cual recibe remuneración. Puede ser el caso de repartidores de carga o agentes de ventas, entre otros.

*En caso de tratarse de vehículos de carga pesada, se preguntará si esta **vacío** (sin carga) o **cargado** completando la fila siguiente. Para los demás tipos de vehículos (livianos y carga liviana) marcar NA.*

- **Estudio:** Si el conductor va hacia o viene de un centro en el cual realiza estudios formales, como institutos que preparan estudiantes para la obtención del bachillerato por madurez o para la aprobación de años de secundaria a través de exámenes o cualquier otro sistema abierto de educación. O si el conductor realiza el viaje con el objetivo único de trasladarse a su centro de estudio de enseñanza superior. Esta categoría incluye las universidades públicas, privadas, así como otras instituciones técnicas superiores e institucionales como las escuelas comerciales, donde los estudios que realicen pertenezcan a un programa con el objetivo de obtener un título

de diplomado, con una duración entre dos a tres años y que tiene como requisito ser egresado del nivel secundario. En el caso de que el conductor lleve primero a sus hijos a su centro de estudio antes de dirigirse al trabajo y sea interceptado antes de arribar el centro de enseñanza, se deberá registrar como zona de origen del viaje la dirección de la vivienda, el destino será el centro de enseñanza y el motivo o propósito de viaje es de estudio.

- **De salud:** Si el conductor se dirige a un lugar con el objetivo de obtener atención médica o paramédica en un centro estatal o privado, a entregar o recibir exámenes de laboratorio o a retirar medicinas. La compra de medicinas en farmacias entra en la categoría motivo “de compras”. Visitar enfermos en los hospitales será clasificado como propósito “social”.
- **De compras/trámites:** Cuando un conductor se traslada a un lugar con el propósito de comprar algún artículo o para realizar algún trámite personal como renovar la cédula de identidad, cortarse el pelo, entre otros.
- **Social/recreación:** Si el conductor se dirige a un lugar con el fin de asistir a una fiesta, visitar a otra persona (incluso visitar enfermos) o simplemente con propósitos recreativos como visitar un parque, un restaurante o dar un paseo sin rumbo definido.
- **Acompañar:** Si el conductor se dirige a un lugar con el objetivo de acompañar a otro que debe realizar el viaje por un motivo específico y de lo contrario no podría realizarlo, excepto cuando el conductor acompaña por motivo de estudio o trabajo en cuyo caso se debe anotar ese propósito específico. En esta categoría se deberán incluir todos los viajes que se realicen para acompañar a centros médicos, acompañar a cobrar la pensión o simplemente llevar a una persona a un destino distinto al propio, que no sea con motivo de estudio o trabajo.
- **Otro:** Si el conductor se traslada a un lugar con un fin distinto de los anteriormente mencionados. Dentro de esta categoría se incluirán los viajes generados para recibir clases de cursos libres como artesanías, cocina, cómputo, etc., cursos cortos que no pertenecen a un plan de estudios o programa tendiente a un diploma y no poseen como requisito ser egresado del nivel secundario. En caso de responder **otro**, completar **cual corresponde**.
- **No Responde (NR):** Si el conductor no desea responder la pregunta se deberá marcar esta casilla.

4. FRECUENCIA DEL VIAJE. ¿Con qué frecuencia realiza este viaje?. Obtener la periodicidad con que son realizados los viajes según la hora y propósito.

* 23. ¿Con qué frecuencia realiza este viaje?

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="radio"/> 1. Todos los días de lunes a viernes | <input type="radio"/> 4. Ocasionalmente |
| <input type="radio"/> 2. Todos los días de lunes a sábado | <input type="radio"/> 5. Casi nunca |
| <input type="radio"/> 3. De 1 a 4 veces por semana | <input type="radio"/> 6. NS/NR |

Es importante que el encuestado comprenda que esta pregunta se corresponde con la frecuencia de realización del “mismo viaje”, es decir, con el **mismo origen, destino y propósito de viaje**.

- **Todos los días de lunes a viernes:** Si el viaje actual con base en el motivo y hora aproximada, es realizado todos los días de lunes a viernes.
- **Todos los días de lunes a sábado:** Si el viaje actual con base en el motivo y hora aproximada, es realizado todos los días de lunes a sábado.
- **De 1 a 4 veces por semana:** Si el viaje actual con base en el motivo y hora aproximada, es realizado de 1 a 4 veces de lunes a sábado inclusive.
- **Ocasionalmente:** Si el viaje actual con base en el motivo y hora aproximada, es realizado con una frecuencia menor a una vez por semana.
- **Casi nunca:** Si el viaje no responde a ningún tipo de periodicidad respecto del motivo y la hora. El viaje se realiza menos de cinco veces al año.
- **No Sabe /No Responde (NS/NR):** Si la persona informante no sabe la respuesta o no desea contestar a la pregunta.

5. OBSERVACIONES. En caso de que se apreciara cualquier incidente o problema surgido durante la realización de la entrevista origen destino, que el entrevistador considere puede afectar los resultados.