

Protocolo para la reversibilidad de carriles en la Ruta Nacional n.º 27 (Caldera – San José)

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Protocolo para la reversibilidad de carriles en la Ruta Nacional N°27 (Caldera – San José)


Llevado a cabo por el estudiante:

García Martínez Kevin

Carné: 2015051627

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el viernes 12 de abril de 2024 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

 Firmado digitalmente
por JOSE ANDRES ARAYA
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2024.04.22
10:22:59 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de la Escuela

Firmado digitalmente por
EZEQUIEL ALEJANDRO
MEDINA ANGULO (FIRMA)
Fecha: 2024.04.17
14:43:02 -06'00'

Ing. Alejandro Medina Angulo
Profesor Guía

Firmado digitalmente
por RAFAEL STACE
BALDODANO GOULDING
(FIRMA)
Fecha: 2024.04.21
18:06:16 -06'00'

Dr. Rafael Baltodano Goulding
Profesor Lector

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2024.04.12 17:31:22 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Observador

Resumen

Este documento hace referencia al nivel de servicio que presenta la Ruta Nacional n.º 27, en el periodo de diciembre 2022 a enero 2023. Debido a los accidentes ocurridos en esta carretera por falta de señalización vial a la hora de aplicar la modalidad de carril reversible en la ruta, surge la necesidad de generar un protocolo de intervención en el señalamiento vial de la Ruta Nacional n.º 27 en reversibilidad de carriles para el tramo comprendido desde el peaje de Pozón en Orotina hasta el peaje de Ciudad Colón en San José. Este informe procura verificar si con el flujo vehicular registrado se puede mantener la carretera en 2 carriles a lo largo del tramo antes mencionado, para así no utilizar la totalidad de carriles disponibles en los tramos multicarril y/o intercambios, debido a que se observa un aumento considerable en la velocidad de los usuarios y los cambios abruptos de carril que pueden ocasionar accidentes. Al realizar el estudio, se verifica que es posible utilizar la medida antes descrita y se procedió a calcular la cantidad de años que quedan disponibles para aplicar esta modalidad; luego, se procedió a elaborar y anexar el protocolo de intervención al señalamiento vial de la ruta.

Palabras clave: Carril reversible, Ruta Nacional n.º 27, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Ingeniería de Tránsito, nivel de servicio, velocidad de flujo libre, multicarril, dos carriles, capacidad de la carretera, seguridad vial.

Abstract

This document refers to the service level of National Route No. 27 during the period of December 2022 and January 2023. Due to accidents resulting from insufficient road signage when implementing the reversible lane modality on the route, there arises a need to establish an intervention protocol for the road signage on National Route No. 27, specifically for the reversible lane section from Pozón Toll Booth in Orotina to Ciudad Colón Toll Booth in San José. This report aims to assess whether maintaining a two-lane configuration throughout the mentioned section, based on the recorded traffic flow, is feasible. The objective is to avoid utilizing all available lanes in multi-lane sections and interchanges, as there is a noticeable increase in user speed and abrupt lane changes that may lead to accidents. The study confirms the viability of the proposed measure, and subsequently, the remaining years available for implementing this modality were calculated. Finally, a protocol for intervention in the route's road signage was developed and appended.

Keywords: Reversible lane, Ruta Nacional n.º 27, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Ingeniería de Tránsito, level of service, free flow speed, multilane, two lane, road capacity, road safety.

Protocolo para la reversibilidad de carriles de la Ruta Nacional n.º 27 (Caldera – San José)

KEVIN ADOLFO GARCÍA MARTÍNEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero de 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen.....	II
Abstract.....	IV
Agradecimientos.....	4
Resumen ejecutivo.....	5
Introducción.....	7
Marco teórico.....	9
Marco metodológico.....	21
Resultados.....	24
Análisis de resultados.....	40
Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	46
Referencias.....	47
Anexos.....	49

Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios por guiarme en el camino para poder culminar y cumplir uno de mis anhelos del corazón. Agradecer a mis papás Adolfo García y María Teresa Martínez por la gran oportunidad de estudiar, ya que, sin la ayuda, apoyo e increíble esfuerzo de su parte a lo largo de todos estos años no podría haber llegado hasta este punto de la vida. Agradezco a mi novia Dariana Soto con todo el corazón por siempre apoyarme, por estar ahí cuando necesitaba unas palabras de aliento y algún empujón extra para poder seguir adelante y no rendirme. También a mis suegros Herbert Soto y Milena Arias por apoyarme y ayudarme de una u otra forma y por hacerme sentir como parte de su familia. Gracias de corazón a todas las personas que de forma directa o indirectamente influyeron a lo largo de mi vida universitaria para lograr finalizar mi carrera.

Resumen ejecutivo

El proyecto de graduación titulado "Protocolo para la reversibilidad de carriles en la Ruta Nacional n.º 27 (Caldera – San José)" abarca un estudio exhaustivo sobre la implementación de la modalidad de carril reversible en este importante corredor vial de Costa Rica. Esta iniciativa surge como respuesta a la necesidad de optimizar el flujo vehicular y mejorar la seguridad vial en la ruta, particularmente durante los picos de alta demanda en modalidad de carril reversible. La relevancia del estudio para la Escuela de Ingeniería en Construcción y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) radica en su potencial para contribuir significativamente a la seguridad vial y eficiencia en el manejo del tráfico, siendo estos aspectos críticos para el desarrollo infraestructural del país.

El estudio está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 9, que enfatiza la construcción de infraestructuras resilientes, promueve la innovación y la industrialización sostenibles, y el ODS 11, que apoya el desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles. Esta alineación subraya el compromiso del proyecto con la promoción de prácticas sostenibles y el bienestar comunitario.

Los objetivos del estudio se centraron en evaluar el nivel de servicio de la Ruta Nacional n.º 27 en condiciones normales y bajo la modalidad de carriles reversibles, los datos de tráfico vehicular más recientes pertenecen a enero del 2023, con el fin de desarrollar un protocolo de intervención en la señalización vial y canalización del tráfico en modalidad de carril reversible, esto para que mejore la seguridad y la gestión del tráfico sin requerir ampliaciones en la infraestructura existente. A través de un análisis detallado y la recopilación de datos, el proyecto buscó ofrecer soluciones basadas en evidencia para abordar los desafíos de congestión vehicular y seguridad vial en la sección de la ruta en estudio. Además de estimar la cantidad de años que estaría disponible la modalidad de carril reversible sin tener ninguna ampliación en la infraestructura de la ruta.

La metodología aplicada se basó en lo indicado en el Highway Capacity Manual (Manual de Capacidad de Carreteras) de la Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras) del gobierno de los Estados Unidos y consistió en la recolección y análisis de datos de tráfico vehicular, la evaluación del nivel de servicio de la sección de la ruta escogida, y el diseño de un protocolo de señalización vial adaptado a las necesidades específicas de la reversibilidad de carriles. Este enfoque combinó análisis cuantitativos y cualitativos, incluyendo estudios comparativos y proyecciones de flujo vehicular.

Los resultados demostraron la factibilidad de implementar carriles reversibles en el tramo seleccionado, manteniendo un nivel de servicio adecuado sin necesidad de utilizar la totalidad de los carriles disponibles en ciertos tramos multicarril. El protocolo de señalización vial elaborado proporciona una guía

completa para la implementación efectiva de la reversibilidad de carriles, incluyendo medidas específicas para la gestión operativa del tráfico y la seguridad vial cuando se aplique la modalidad de carril reversible.

Las conclusiones del estudio subrayan la importancia de una planificación y gestión vial proactiva, la viabilidad y tiempo estimado para aplicar la modalidad de carril reversible en el tramo estudiado y la necesidad urgente de adoptar las recomendaciones propuestas para prevenir el deterioro del nivel de servicio y garantizar la seguridad de los usuarios. Este enfoque no solo optimiza la infraestructura existente, sino que también proporciona una base sólida para futuras investigaciones y mejoras en la ingeniería de tránsito y seguridad vial en Costa Rica.

En términos más específicos, el estudio sugiere que la implementación de carriles reversibles podría ser una medida efectiva a corto y mediano plazo, sin ampliaciones en la infraestructura existente, para manejar la demanda vehicular en épocas de alta congestión, especialmente durante los fines de semana y periodos vacacionales, donde el flujo de vehículos hacia San José y alrededores aumenta significativamente. Además, el protocolo desarrollado abarca aspectos críticos como la señalización vial adecuada y la canalización del tráfico vehicular para garantizar una transición suave y segura hacia la reversibilidad de carriles.

Introducción

En este documento, se presenta la problemática evidenciada en la Ruta Nacional n.º 27 por la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), que radica en la falta de un protocolo para la implementación de carriles reversibles en el tramo comprendido entre Pozón, en Orotina, hasta Ciudad Colón, en dirección Caldera – San José. En dicha sección de la ruta, se presentan confusiones -principalmente- en las intersecciones, que es donde hay un cambio considerable en la cantidad de carriles involucrados, aumentando y disminuyendo constantemente.

El principal problema identificado fue el aumento en la velocidad y la falta de señalización vial cuando se aplica la reversibilidad; debido a esto, se presenta un peligro constante y se expone al usuario a un nivel de seguridad no apto para transitar en una carretera de altas velocidades de operación, por lo que es de suma importancia tener bajo control el manejo del flujo vehicular en esta ruta tan relevante para la sociedad costarricense.

La presente investigación contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Industria, Innovación e Infraestructura, como también a Ciudades y comunidades sostenibles aportando en la mejoría de la seguridad vial del país. En su desarrollo, se muestran datos recuperados de diferentes estaciones de conteo vehicular a lo largo de la Ruta Nacional n.º 27 dentro del rango que comprende el caso en estudio, como también conteos realizados en los peajes de cobro ubicados dentro del rango de carretera antes descrito (dichos datos fueron suministrados por diferentes departamentos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)).

Cabe destacar que los datos se utilizaron para realizar una comparativa entre la demanda de la ruta con la capacidad de esta, en modalidad normal y en la modalidad de reversibilidad de carriles; también, se determinó el nivel de servicio que presentaba la ruta en el año 2023, principalmente enfocados en la modalidad de reversibilidad de carriles, para comprobar si esta modalidad puede funcionar con un número constante de carriles disponibles a lo largo de la ruta. Con esto, se pretende crear un protocolo de intervención de la vía, que permita mantener la seguridad vial en el momento en que se utilice la modalidad de carril reversible en sentido Caldera – San José.

Objetivo general

Generar un protocolo para establecer la reversibilidad de carriles de la Ruta Nacional n.º 27 de manera segura y funcional. (El documento será anexado a este proyecto de graduación.)

Objetivos específicos

- Determinar el nivel de servicio actual de la carretera para el flujo vehicular en condiciones normales y en condiciones de reversibilidad de carriles.
- Establecer los tipos de señalamiento vial, así como los dispositivos de control de tránsito necesarios para satisfacer condiciones favorables de seguridad en la aplicación de la reversibilidad de carriles (según documento que será anexo a este proyecto de graduación).
- Proponer un protocolo de acción, según objetivo anterior, para la Ruta Nacional n.º 27 en el modo de reversibilidad de carriles (según documento anexo a este proyecto de graduación).

Alcances y limitaciones

En el presente documento, se analiza únicamente el tramo de la Ruta Nacional N°27, comprendido desde el peaje de Pozón, en Orotina, hasta el peaje de Ciudad Colón, en San José, que es donde se aplica la modalidad de carril reversible para esta ruta.

Cabe aclarar que, en este proyecto, no se cuestiona el funcionamiento o aplicación del carril reversible implementado para la Ruta Nacional N°27, lo que se aborda es el nivel de servicio que presenta la ruta en cada una de las secciones estudiadas, en operación normal y con carril reversible; de esta forma, dicho estudio se limita a analizar la cantidad de años máximo en que el carril reversible es solución temporal, sin contemplar ampliación física de la ruta para aumentar la capacidad funcional.

Así mismo, en este trabajo, se incluye un protocolo para efectuar el correcto señalamiento vial en la ruta, según en las necesidades de esta (dicho protocolo se adjunta en uno de los anexos de este proyecto). También, hay que aclarar que no se efectuó ningún diseño o mejora geométricos a lo existente, ni tampoco se incluye en el análisis el efecto de las rampas de acceso y salida de la Ruta Nacional n.º 27 que requieren de un análisis adicional.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron los datos que fueron suministrados por el MOPT, tanto del Departamento de Ingeniería de Tránsito como del Departamento de Planificación Sectorial, información que se da por cierta y veraz. Debe de indicarse que dichos datos fueron entregados posterior a la fecha planificada, lo cual ocasionó atrasos significativos en la elaboración de este informe que no estaban bajo el control del investigador.

Por último, los datos referentes a la velocidad se estimaron mediante la metodología indicada en este proyecto, cualquier otro estudio de revisión de datos o similar está fuera del alcance de este estudio.

Marco teórico

El marco teórico que a continuación se presenta está basado en el Highway Capacity Manual (Manual de capacidad de autopistas) del Transportation Research Board, según las referencias bibliográficas que se encuentran al final de este informe.

A su vez, este documento se basa en la problemática presentada por parte de la DGIT del MOPT, la cual explica que la implementación de reversibilidad de carriles en la Ruta Nacional número 27 (RN27) carece de una adecuada señalización vial para la conservación de la seguridad vial de los usuarios de esta ruta, específicamente en la modalidad de reversibilidad de carriles, además del exceso de velocidad al que se exponen algunos de los usuarios, al tener mayor cantidad de carriles disponibles de lo habitual por sentido para transitar; así lo indica PITRA – LANAMME (2013), al afirmar que un porcentaje alto de conductores transitan a una velocidad que sobrepasa el límite establecido,

Aunado a lo anterior, el constante cambio en la cantidad de carriles genera una serie de “cuellos de botella” al pasar de una cantidad mayor de carriles a una menor cantidad y la falta de señalización puede generar accidentes vehiculares como el ocurrido el pasado 24 de julio del 2023, donde “De acuerdo con el reporte preliminar que manejan las autoridades, Globalvia aplicó carril reversible, esto pudo confundir al motociclista quien se topó de frente con el vehículo” (Corrales, 2023), a partir de lo cual el motociclista falleció.

En relación con lo recién expuesto, la DGIT indica que, ante un posible exceso de carriles disponibles en las intersecciones en la modalidad de carril reversible y al haber un estrechamiento de la ruta luego de las intersecciones y el aumento de la velocidad de los usuarios, se tiende a generar congestión en la vía, lo cual entorpece el tránsito fluido de los vehículos y aumenta la probabilidad de accidentes en la ruta.

Para mitigar la probabilidad de accidentes en la vía y fomentar su correcto uso en modo de carril reversible, se propone crear un protocolo para intervenir la ruta de manera temporal en el ámbito de señalización vial, redireccionando el flujo vehicular a una cantidad de carriles constante durante toda la ruta, que se disponga para la modalidad de reversibilidad de carriles y que esta cumpla con los requisitos mínimos de seguridad vial que se establecen en el país.

1 Características y conceptos de tránsito vehicular

Para estos conceptos y caracterización del tránsito, se utilizan fuentes de información provenientes, principalmente, de Estados Unidos, donde se tiene una basta investigación en temas de planificación vial y comportamiento de los usuarios en la red vial. Entre esas fuentes de información, sobresalen la Federal Highway Administration (FHWA) y el Highway Capacity Manual (HCM), aunque hay que decir que también se utilizaron las normativas nacionales dispuestas por los entes de autoridad en Costa Rica.

1.1 Clasificación de tránsito vehicular

La clasificación vehicular se puede realizar por tipo de carrocería y cantidad de ejes en el vehículo, ya sea con tracción o remolcado. Para esta clasificación, se utiliza el Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga (2005), del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. A partir de lo anterior, se contempló analizar los vehículos de la siguiente manera.

- Vehículos livianos.
- Autobuses.
- Vehículos pesados de 2 a 3 ejes.
- Vehículos pesados de 4 ejes.
- Vehículos pesados de 5 o más ejes.

Cuadro 1. Dimensiones máximas permitidas

Longitud Máxima	Tipo de vehículo (metros)
Tractocamión con doble semirremolque	21,00
Camión con remolque pesado	21,00
Tractocamión con semirremolque	21,00
Camión sin remolque	12,00
Camioneta "pick up" y "doble cabina"	6,00
Autobús articulado	18,50
Autobús normal	14,00
Buseta	12,00
Microbús	8,00

Fuente: Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga (2005).

1.2 Volumen de tránsito

Se refiere a volumen de tránsito la cantidad de vehículos que transiten por una ruta en determinado rango de tiempo, a partir del cual se calcula un promedio y permite establecer la siguiente clasificación:

- **Tránsito promedio anual:** se refiere al flujo vehicular promedio en todo un año, siendo este todo el flujo vehicular anual dividido entre 365 días.
- **Tránsito promedio mensual:** se refiere al flujo vehicular promedio en todo un mes, siendo este todo el flujo vehicular anual dividido entre 30 días.
- **Tránsito promedio semanal:** se refiere al flujo vehicular promedio en toda una semana, siendo este todo el flujo vehicular anual dividido entre 7 días.
- **Tránsito promedio diario:** se refiere al tránsito total que se registre a lo largo del día.
- **Tránsito promedio horario:** en este tipo de tránsito, se toma el total del flujo vehicular en el día y se divide entre 24 horas. Este -también- se puede reflejar como una fracción de hora y se utiliza comúnmente para averiguar el factor de hora pico en la que se encuentra la carretera con ese promedio diario.

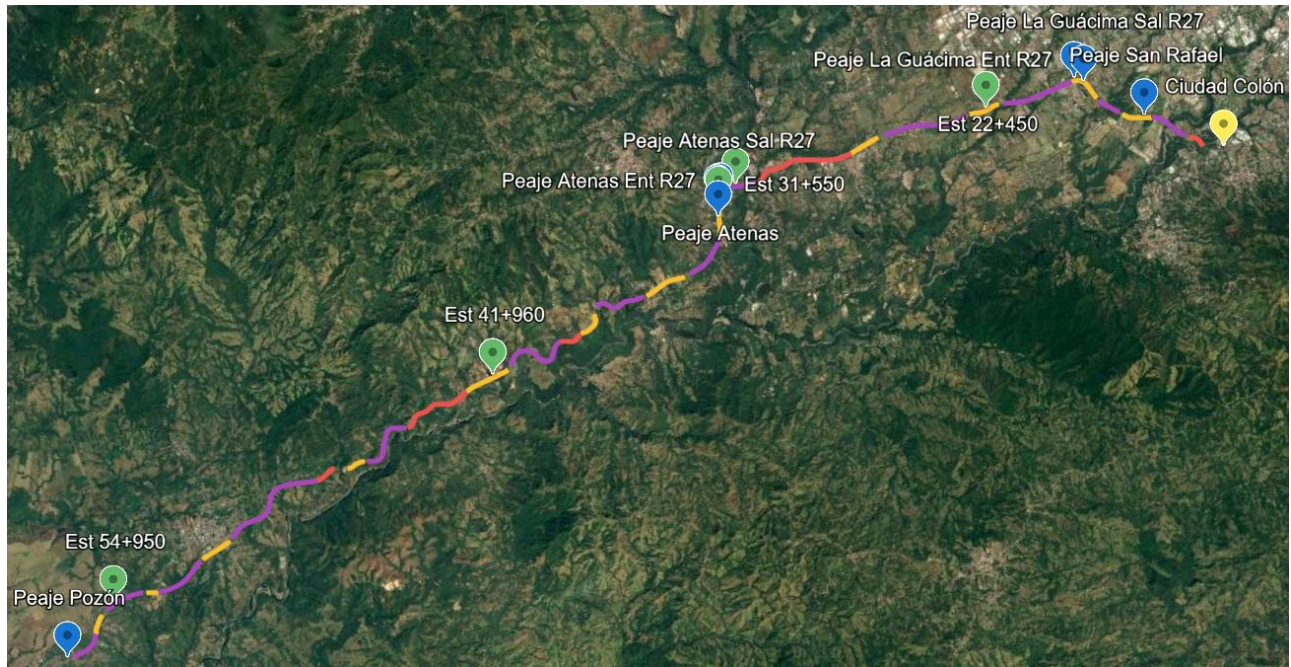
1.3 Condiciones de la carretera

Las condiciones de la Ruta Nacional n.º 27 (RN27) son muy cambiantes a lo largo de la ruta debido al diseño esta; por ejemplo, se pueden presentar:

- Cambios en la cantidad de carriles disponibles por sentido.
- Cambios de pendiente por el tipo de terreno.
- Carriles de ascenso.
- Diferente separación de carriles.
- Cambios en la velocidad máxima permitida.
- Constante entrada y salida de vehículos a la ruta.

Debido a estas condiciones mixtas que se presentan en la carretera en estudio, se debe separar la ruta en diferentes secciones más pequeñas, para poder identificar y analizar de una mejor manera el comportamiento del tránsito vehicular en la ruta, por lo cual se decide seccionar la ruta como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Seccionamiento de la Ruta Nacional n.º 27 e identificación de puntos de interés para el caso en estudio



Fuente: Google Earth (2023).

Como se puede ver en la Figura 1, aparecen los puntos de interés de la ruta, así como las secciones en las que se separa esta, y se clasifican de la siguiente manera:

- Puntos color azul: indican peajes o casetillas de cobro que están dentro del rango de estudio, en los cuales se hace un conteo vehicular para tener un control de este.
- Puntos color verde: indican estaciones de conteo vehicular dispuestas por el MOPT en diferentes puntos de la ruta. Dichas estaciones se identifican por indicar en el primer número el kilómetro correspondiente de la carretera en la que se encuentran, mientras que el segundo número indica la cantidad de metros que han transcurrido hasta hacer el siguiente cambio de kilómetro. Cabe destacar que la Ruta Nacional n.º 27 (RN27) tiene su kilómetro 0 en el cruce de La Sabana en San José.
- Punto color amarillo: indica el lugar de finalización del carril reversible.
- Secciones color morado: indican partes de la ruta que se encuentran con 2 carriles disponibles, uno por sentido. Este tipo de sección se indica en el Highway Capacity Manual como sección Two lane (Dos carriles).
- Secciones color rojo: indican que son tramos de tipo Two lane (Dos carriles), pero con un carril de ascenso disponible a mano derecha; en su mayoría, son en sentido Caldera – San José, debido a la topografía del terreno y a que el punto de inicio de la ruta es cercano a la costa, sin embargo, también hay una sección que posee un carril de ascenso en el sentido contrario, siendo este San José – Caldera. Dicho tipo de sección se analiza de una forma específica, según el HCM (2022).
- Secciones color amarillo: indican partes de la ruta que tienen un diseño geométrico multicarril, refiriéndose a que se tiene más de un carril disponible por sentido, en su mayoría son secciones con

4 carriles disponibles, siendo 2 por sentido y -en su totalidad- se encuentran separados por una barrera física.

1.4 Capacidad de la carretera

Para el cálculo de capacidad, se utiliza la metodología expuesta en el Highway Capacity Manual (2022), donde se indica que se debe de determinar de forma específica, dependiendo de las condiciones de la carretera. Como se mencionó anteriormente, la ruta en estudio se separó en secciones más pequeñas que permiten un análisis más sencillo y correcto.

1.4.1 Multicarril (Multilane)

Para el modo multicarril, el HCM (2022) menciona que, como condición inicial, se debe de contar con -al menos- 2 carriles disponibles por sentido y, en la mayoría de las secciones de la ruta, se cuenta con 4 carriles disponibles, siendo utilizados 2 carriles por sentido y estos se separan por algún espacio físico, ya sea islas demarcadas en el asfalto o barreras tipo New Jersey (ver Figura 2).

Figura 2. Ejemplo de barrera vehicular tipo New Jersey



Fuente: Ecuaconductos (2014).

A continuación, en el Cuadro 2, se presentan los parámetros establecidos en el HCM (2022) para poder determinar la capacidad de la vía, la velocidad de flujo libre y el nivel de servicio en la que se encuentra.

Cuadro 2. Parámetros importantes en el método Multicarril

Parameter	Definition and Units	Basic Freeway Segments	Multilane Highway Segments
FFS	Base segment free-flow speed (mi/h)	Measured OR predicted with Equation 12-2	Measured OR predicted with Equation 12-3
FFS_{adj}	Adjusted free-flow speed (mi/h)	$FFS_{adj} = FFS \times SAF$	No adjustments
SAF	Speed adjustment factor (decimal)	Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions	1.00
c	Base segment capacity (pc/h/ln)	$c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$	$c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$
c_{adj}	Adjusted segment capacity (pc/h/ln)	$c_{adj} = c \times CAF$	No adjustments
CAF	Capacity adjustment factor (decimal)	Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions	1.00
D_c	Density at capacity (pc/mi/ln)	45	45
BP	Breakpoint (pc/h/ln)	$BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$	1,400
a	Exponent calibration parameter (decimal)	2.00	1.31

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

Para interpretar el Cuadro 2, la columna de la derecha se refiere a los segmentos de tipo multicarril (Multilane); en la primera fila, se menciona la velocidad de flujo libre, que puede ser medida, calculada o se puede usar un valor por defecto. Si se quiere realizar el cálculo, se debe usar la siguiente ecuación (cabe destacar que los cuadros, reducciones de ajuste y demás interpretaciones se encuentran expresadas en millas por hora, sin embargo, se puede realizar el correspondiente cambio de unidades):

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

Donde:

$$FFS = \text{Velocidad de flujo libre del segmento multicarril } (mi/h) \text{ o } (km/h)$$

$$BFFS = \text{Velocidad base de flujo libre del segmento multicarril } (mi/h) \text{ o } (km/h)$$

$$f_{LW} = \text{Ajuste por ancho de carril } (mi/h) \text{ o } (km/h)$$

$$f_{TLC} = \text{Ajuste por espacio lateral total } (mi/h) \text{ o } (km/h)$$

$$f_M = \text{Ajuste por separación de carriles por sentido } (mi/h) \text{ o } (km/h)$$

$$f_A = \text{Ajuste por densidad de puntos de acceso } (mi/h) \text{ o } (km/h)$$

En este caso, se puede realizar la conversión de unidades mientras se mantenga la esencia del dato, por ejemplo, en la ecuación anterior, se utilizan datos de velocidad, de manera que se debe mantener un dato de velocidad para no alterar el resultado de este cálculo.

Para realizar los ajustes en la ecuación de velocidad de flujo libre, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Velocidad base de flujo libre del segmento multicarril (BFFS): el HCM (2022) indica que la metodología para segmentos multicarril abarca un rango de 45 millas por hora (72.42 km/h) hasta 70 millas por hora (112.65 km/h). Además, menciona que, si no se indica la velocidad de diseño, se puede utilizar la velocidad máxima permitida más 5 millas por hora (8.04 km/h), si el límite es mayor a 50 millas por hora (80.46 km/h), y 7 millas por hora (11.26 km/h) más, si la velocidad máxima permitida es menor a 50 millas por hora (80.46 km/h).
- Ajuste por ancho de carril (FLW): para el cálculo de ajuste por ancho de carril, el HCM (2022) indica que la condición base debe tener al menos 12 pies (3.65 m) de ancho de carril, de lo contrario, se afecta la velocidad de flujo libre. Se usa la siguiente tabla (Tabla 1) para seleccionar el ajuste correcto.

Tabla 1. Tabla de ajuste por ancho de carril (FLW)

Average Lane Width (ft)	Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h)
≥12	0.0
≥11-12	1.9
≥10-11	6.6

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

- Ajuste por espacio lateral total (FTLC): para este ajuste, el HCM (2022) indica que se toma como referencia la distancia libre de obstrucciones desde el borde tanto del carril interno como del carril externo, llámese obstrucciones las señalizaciones, barandas de aproximación o cualquier objeto que obstruya el libre tránsito al costado de la carretera. Para este ajuste, se utiliza la siguiente ecuación y el siguiente cuadro (ver Tabla 2).

$$TLC = LC_R + LC_L$$

Donde:

TLC = Espacio total disponible (ft) o (m)

LC_R = Espacio disponible a la derecha (ft) o (m)

LC_L = Espacio disponible a la izquierda (ft) o (m)

Tabla 2. Tabla de ajuste por espacio disponible (FTLC)

Four-Lane Highways		Six-Lane Highways	
TLC (ft)	Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h)	TLC (ft)	Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h)
12	0.0	12	0.0
10	0.4	10	0.4
8	0.9	8	0.9
6	1.3	6	1.3
4	1.8	4	1.7
2	3.6	2	2.8
0	5.4	0	3.9

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

- Ajuste por separación de carriles por sentido (FM): este ajuste indica -según el HCM (2022)- si la carretera se encuentra con los carriles divididos por algún espacio físico, y se utiliza la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3. *Tabla de ajuste por separación de carriles por sentido (FM)*

Median Type	Reduction in FFS, f_M (mi/h)
Undivided	1.6
TWLTL	0.0
Divided	0.0

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

La tabla indica que, si la carretera está sin división, se reduce la velocidad de flujo libre en 1.6 millas por hora (2.57 km/h).

- Ajuste por densidad de puntos de acceso (FA): el HCM (2022) indica que, si la densidad de accesos a la ruta aumenta, se debe realizar un ajuste mayor en la velocidad de flujo libre, como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4. *Tabla de ajuste por densidad de puntos de acceso (FA)*

Access Point Density (access points / mi)	Reduction in FFS, f_A (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
≥40	10.0

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

1.5 Nivel de servicio

El nivel de servicio de una ruta indica la calidad de manejo que se permite al utilizar la carretera: entre más alto sea el nivel de servicio, se va a tener más posibilidad de maniobrar entre carriles -al tratarse de un tipo de segmento multicarril- o menor densidad de seguimiento vehicular -en caso de tratarse de un segmento de dos carriles-.

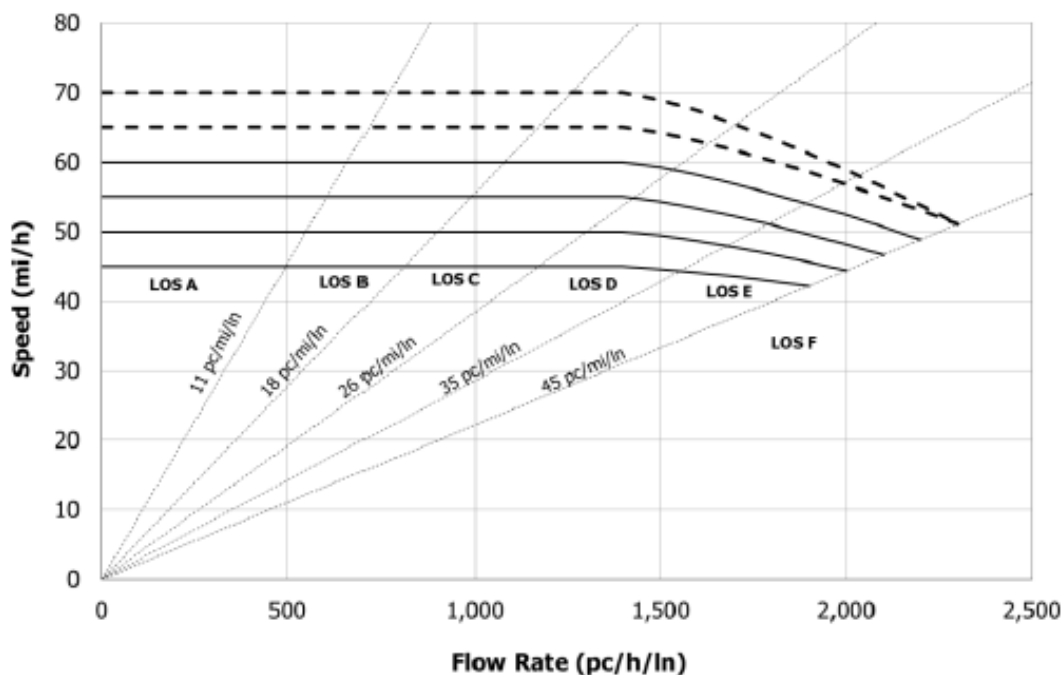
Cabe destacar que los niveles de servicio se clasifican de manera alfabética, siendo A el mejor nivel de servicio, con la posibilidad de transitar prácticamente a la velocidad de flujo libre o cercana a esta; por el contrario, el nivel F se refiere al peor nivel de servicio, ya que -para este punto- la demanda excede la capacidad de la carretera.

- Multicarril (Multilane)

En el segmento multicarril, comúnmente, se utiliza la velocidad de flujo libre para determinar -de manera gráfica- el nivel de servicio que posee la ruta.

Como se muestra en la Figura 3, para los segmentos multicarriles, se tiene un flujo máximo de 1400 vehículos de pasajeros por hora por carril; después de esto, la demanda supera la capacidad de la vía y empieza a decaer la velocidad de flujo libre a la que opera la ruta.

Figura 3. Gráfica de velocidad de flujo libre versus el flujo vehicular para determinar el nivel de servicio de la carretera



Note: Dashed curves are extrapolated and not based on field data.

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

Ahora bien, además de la velocidad de flujo libre relacionándose con el flujo vehicular, se puede utilizar la densidad de vehículos que transitan por la vía en cierta cantidad de espacio por carril. A continuación, en la Tabla 5, se ejemplifica el uso de la densidad para determinar el nivel de servicio de la carretera.

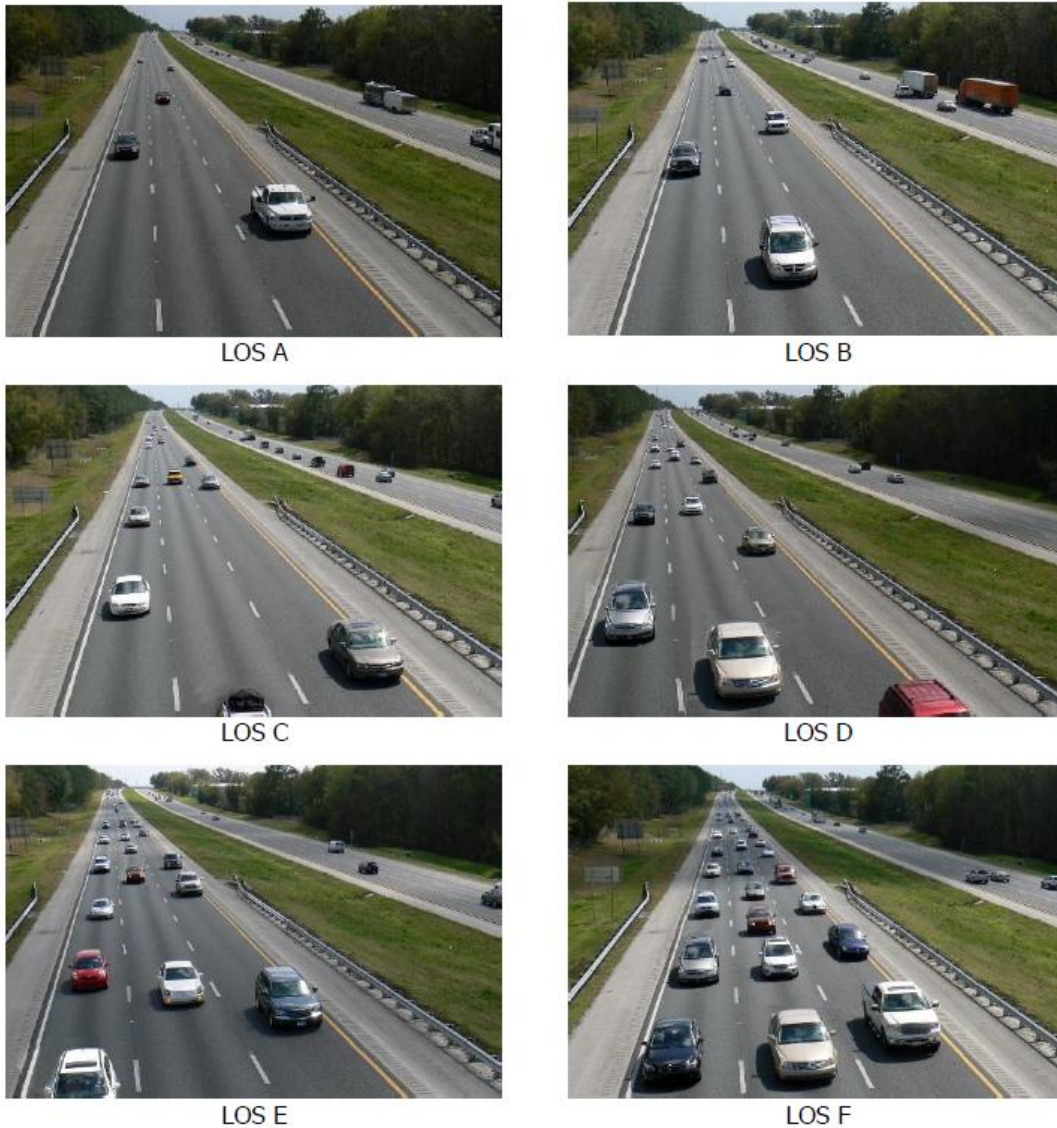
Tabla 5. Tabla para determinar el nivel de servicio con respecto a la densidad de vehículos de pasajeros por milla por carril

LOS	Density (pc/mi/ln)
A	≤11
B	>11–18
C	>18–26
D	>26–35
E	>35–45
F	Demand exceeds capacity OR density > 45

Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

Según lo indica el HCM (2022), en la realidad, se verían cada uno de los niveles de servicio de la siguiente manera (ver Figura 4):

Figura 4. Representación visual de cómo se vería el nivel de servicio en carretera



Fuente: Highway Capacity Manual (2022).

Se puede describir el nivel de servicio (LOS) de la carretera de la siguiente manera:

- Nivel de servicio A: es cuando la carretera funciona con velocidad de flujo libre y los vehículos pueden maniobrar libremente.
- Nivel de servicio B: la carretera opera con un flujo razonablemente libre, la velocidad de flujo libre se mantiene y se restringe poco la capacidad para maniobrar, además de que provee un confort psicológico alto para los usuarios, según el HCM (2022).
- Nivel de servicio C: la libertad para maniobrar se restringe notablemente en comparación con el nivel de servicio B, los cambios de carril requieren mayor cuidado, la velocidad de operación es

menor a la velocidad de flujo libre y es probable que se empiecen a formar filas en un congestionamiento importante.

- Nivel de servicio D: las velocidades empiezan a disminuir con el aumento de flujo vehicular, la libertad de maniobrar se ve seriamente limitada y se reduce el confort físico y psicológico de los usuarios. Además, que se pueden crear grandes filas por incidentes menores.
- Nivel de servicio E: la demanda vehicular se aproxima a la capacidad máxima de la ruta. Cualquier incidente menor puede causar grandes filas debido al poco espacio para maniobrar en la circulación.
- Nivel de servicio F: la demanda puede sobrepasar la capacidad en un lugar determinado. En este nivel de servicio, se presenta un flujo inestable y se forman colas en los cuellos de botella. Puede reducir la capacidad temporalmente en un segmento corto. Existen pocos o nulos espacios para maniobrar entre carriles.

2 Crecimiento vehicular

Para las proyecciones de crecimiento vehicular respectivas a la flota que pasa por la Ruta Nacional N°27, se utilizará la siguiente ecuación:

$$F = P(1 + i)^n$$

Donde:

F = Valor futuro

P = Valor presente

i = Tasa de crecimiento

n = Número de años a partir del año base

Con esta ecuación, se determina el valor que puede llegar a tener el flujo vehicular que pase por la Ruta Nacional N°27, utilizando el valor del flujo vehicular anual actual, un porcentaje de crecimiento anual determinado a partir de registros históricos y la cantidad de años a los que se está proyectando el flujo. Para calcular la cantidad de años a proyectar, se determina -primeramente- la cantidad de vehículos que pueden pasar por la carretera sin exceder la capacidad de esta; luego, se calcula en cuántos años va a llegar a suceder este escenario.

3 Dispositivos de control de tránsito

Para poder generar el manual de intervención de la Ruta Nacional n.º 27 en modalidad de carril reversible, se toma como prioridad mantener la seguridad vial en la carretera; debido a esto, se toma como referencia el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2014), realizado por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), para seleccionar las señalizaciones y los

dispositivos de control de tránsito para colocar en la vía, que estos sean aptos con la situación en estudio y cumplan con todos los requisitos de seguridad vial necesarios para asegurar el correcto uso de la ruta en modalidad de carril reversible.

También, hay que tener en cuenta que la intervención de la vía la debe realizar el Departamento de Policía de Tránsito, que -muchas veces- se refleja mermado por la cantidad de oficiales efectivos para realizar esta labor, por lo que se analiza la versatilidad de la señalización vial y los dispositivos de control de tránsito necesarios para cumplir de la mejor manera este objetivo.

El análisis y selección de la señalización y dispositivos de control de tránsito se remite al capítulo 2 de señales de prevención y el capítulo 6 de dispositivos de seguridad y control de tránsito temporal del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2014), el cual menciona un control temporal para realizar trabajos en la vía, siendo este el capítulo que calza mejor con lo que se quiere lograr con este proyecto.

Marco metodológico

Se llevó a cabo una investigación descriptiva y calificativa del problema expuesto por la DGIT del MOPT, al tener la carencia de un protocolo de intervención para la RN27, en cuanto vaya a funcionar la modalidad de carril reversible en esta carretera; de esta manera, se procede a describir y dar a conocer la problemática por medio de la investigación, a realizar el análisis correspondiente y a calificar el estado y nivel de servicio en que se encuentra funcionando la Ruta Nacional N° 27, tanto en modalidad normal como en modalidad de reversibilidad de carriles. Lo anterior se llevó a cabo, principalmente, para determinar cuánto tiempo queda disponible para utilizar la ruta sin que rebase el punto de demanda máxima, según el crecimiento vehicular anual del país que pase por esta ruta.

1. Determinar la capacidad actual de la carretera para el flujo vehicular en condiciones normales y condiciones de reversibilidad de carriles

Para el cálculo de la capacidad actual de la vía, se utilizaron los conteos vehiculares más recientes disponibles de la RN27, proveídos por Globalvia y el MOPT. En este apartado, se toman en cuenta ambas modalidades de carriles, normal y reversible, a fin de lograr generar un informe que explique la condición actual de funcionamiento y capacidad de la RN27 en ambas modalidades. Cabe destacar que también se analizaron los planos 'As Built' suministrados por parte de la DGIT, pues estos especifican las intersecciones, carriles de ascenso, aumento y disminución de carriles disponibles por sentido en cada tramo de la ruta.

2. Calcular la cantidad de años en los que la reversibilidad funcionaría sin tener ampliaciones en la ruta utilizando el crecimiento del flujo vehicular esperado y una

proyección de la situación de la ruta en un rango de 15 años

Se llevó a cabo una proyección del crecimiento vehicular en el país utilizando datos de los últimos años disponibles hasta 2023, para así generar una predicción acertada y realista de la situación vehicular del país. Con esto, se podría calcular la capacidad de funcionamiento de la RN27 con el pasar de los años sin recibir ninguna ampliación y esta información se puede utilizar como un insumo para la empresa en un futuro, para solicitar ampliaciones y mejoras en la RN27.

3. Establecer los tipos de señalización vial y dispositivos de control de tránsito necesarios para cumplir con los estándares de seguridad vial del país

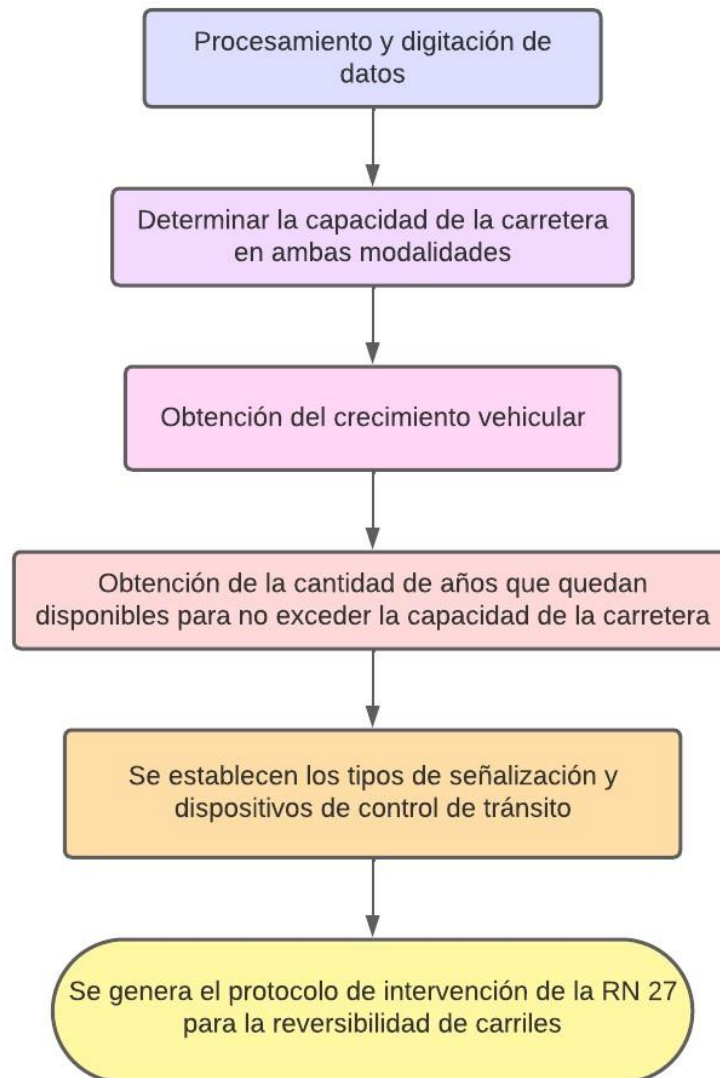
Se realizó una comparación de la señalización vial disponible y los dispositivos de control de tránsito con los requeridos para implementar el carril reversible en la RN27, utilizando el manual establecido por SIECA (2014) y consultando el criterio de expertos en ingeniería de tránsito, señalización vial y dispositivos de control de tránsito, para que cumpla con los estándares de seguridad vial establecidos en el país.

4. Proponer un protocolo de acción para intervenir la señalización vial y los dispositivos de control de tránsito de la Ruta Nacional n.º 27 en el modo de reversibilidad de carriles

Una vez obtenida toda la información en el proceso del proyecto, se propone un protocolo de acción para intervenir la RN27 en cuanto se ponga en marcha la modalidad de carril reversible; dicho protocolo es un documento independiente del proyecto de investigación, el cual puede utilizarse sin tener que leer o conocer la investigación previa.

Para exponer de manera más gráfica lo expuesto anteriormente, en la Figura 5, se presenta un resumen de los pasos a seguir en este proyecto de investigación.

Figura 5. Representación gráfica del marco metodológico



Resultados

Por medio de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT), se obtuvo información del historial de comportamiento del tráfico en la Ruta Nacional n.º 27 (RN 27), desde el 20 de diciembre hasta el 31 del mismo mes del año 2013, periodo que abarca información de funcionamiento en modalidad normal, y en modalidad de carril reversible (específicamente, del día 29 de diciembre de 2013). Los conteos vehiculares se hicieron por hora y se dividieron en cinco categorías de vehículos que transitan por la RN 27 (las más comunes en el país y las autorizadas para poder transitar por la ruta), las cuales son

- Vehículos livianos.
- Autobuses.
- Vehículos pesados de 2 a 3 ejes.
- Vehículos pesados de 4 ejes.
- Vehículos pesados de 5 ejes o más.

A continuación, en las tablas 6 y 7, se muestran los conteos vehiculares separados por sentido de funcionamiento de la ruta, los cuales -también- se representan gráficamente en las figuras 6 y 7. Cabe aclarar que dichos conteos vehiculares pertenecen al viernes 20 de diciembre del 2013 en funcionamiento normal de la ruta (en la sección de anexos, se encuentran las tablas y gráficos restantes al conteo vehicular de diciembre del 2013).

Tabla 6. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Viernes - 20/Dic/2013					
Horario	Livianos	Autobuses	Pesados 2 y 3	Pesados 4	Pesados 5+	Total
00:00 - 01:00	54	5	18	0	26	103
01:00 - 02:00	39	7	19	0	13	78
02:00 - 03:00	36	4	24	0	10	74
03:00 - 04:00	73	8	41	0	13	135
04:00 - 05:00	119	19	41	1	34	214
05:00 - 06:00	234	18	54	5	28	339
06:00 - 07:00	450	26	61	9	38	584
07:00 - 08:00	471	49	52	4	26	602
08:00 - 09:00	453	57	33	8	16	567
09:00 - 10:00	559	38	41	3	31	672
10:00 - 11:00	549	31	41	3	25	649
11:00 - 12:00	483	33	35	2	41	594
12:00 - 13:00	464	22	34	1	45	566
13:00 - 14:00	504	40	35	2	56	637
14:00 - 15:00	464	25	30	2	45	566
15:00 - 16:00	548	38	19	0	48	653
16:00 - 17:00	535	34	27	1	37	634
17:00 - 18:00	482	29	28	0	26	565
18:00 - 19:00	511	17	19	0	41	588
19:00 - 20:00	429	20	18	0	24	491
20:00 - 21:00	487	36	29	1	63	616
21:00 - 22:00	342	26	20	1	42	431
22:00 - 23:00	230	32	15	0	33	310
23:00 - 00:00	168	40	13	1	30	252
Total	8684	654	747	44	791	10920

Figura 6. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Tabla 7. Tráfico horario de diciembre 20 del 2013 sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Viernes - 20/Dic/2013					
Horario	Livianos	Autobuses	Pesados 2 y 3	Pesados 4	Pesados 5+	Total
00:00 - 01:00	59	3	11	0	27	100
01:00 - 02:00	37	1	18	0	20	76
02:00 - 03:00	28	3	10	0	16	57
03:00 - 04:00	22	6	7	1	35	71
04:00 - 05:00	48	3	16	1	34	102
05:00 - 06:00	138	9	9	1	9	166
06:00 - 07:00	206	10	9	0	16	241
07:00 - 08:00	270	10	22	0	29	331
08:00 - 09:00	338	15	15	1	40	409
09:00 - 10:00	394	11	29	0	31	465
10:00 - 11:00	354	21	23	6	38	442
11:00 - 12:00	441	14	30	6	38	529
12:00 - 13:00	433	9	28	3	30	503
13:00 - 14:00	621	20	37	4	29	711
14:00 - 15:00	658	19	46	1	35	759
15:00 - 16:00	704	14	45	0	30	793
16:00 - 17:00	726	27	53	1	33	840
17:00 - 18:00	678	38	39	0	31	786
18:00 - 19:00	642	29	40	0	41	752
19:00 - 20:00	516	23	43	2	24	608
20:00 - 21:00	324	20	21	1	17	383
21:00 - 22:00	255	16	24	0	18	313
22:00 - 23:00	207	12	20	0	15	254
23:00 - 00:00	127	15	14	0	18	174
Total	8226	348	609	28	654	9865

Figura 7. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Los datos anteriores pertenecen a los registros en modalidad normal de la Ruta Nacional N°27, por lo que, a continuación, en las tablas 8 y 9 y en las figuras 8 y 9, se muestra el comportamiento del tráfico diario en ambos sentidos del día 29 de diciembre de 2013, cuando se aplicó la modalidad de carril reversible en la RN 27.

Tabla 8. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha Domingo 29/Dic/2013						
Horario	Livianos	Autobuses	Pesados 2 y 3	Pesados 4	Pesados 5+	Total
00:00 - 01:00	133	8	3	0	2	146
01:00 - 02:00	74	7	9	0	1	91
02:00 - 03:00	60	5	6	1	1	73
03:00 - 04:00	111	5	8	0	4	128
04:00 - 05:00	163	36	12	1	5	217
05:00 - 06:00	410	40	18	0	11	479
06:00 - 07:00	852	82	17	1	10	962
07:00 - 08:00	1030	90	24	0	5	1149
08:00 - 09:00	1122	74	20	0	7	1223
09:00 - 10:00	1142	47	25	1	5	1220
10:00 - 11:00	1212	38	15	0	6	1271
11:00 - 12:00	1042	31	22	0	7	1102
12:00 - 13:00	1159	39	19	0	7	1224
13:00 - 14:00	666	29	13	0	7	715
14:00 - 15:00	26	4	0	0	0	30
15:00 - 16:00	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	0	0	0	0	0	0
18:00 - 19:00	1	0	0	0	0	1
19:00 - 20:00	368	14	12	0	6	400
20:00 - 21:00	273	16	12	0	4	305
21:00 - 22:00	150	7	4	1	4	166
22:00 - 23:00	114	3	6	0	4	127
23:00 - 00:00	94	20	14	0	2	130
Total	10202	595	259	5	98	11159

Figura 8. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Tabla 9. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Domingo 29/Dic/2013					
Horario	Livianos	Autobuses	Pesados 2 y 3	Pesados 4	Pesados 5+	Total
00:00 - 01:00	98	1	2	0	5	106
01:00 - 02:00	152	5	9	0	18	184
02:00 - 03:00	73	7	7	0	6	93
03:00 - 04:00	50	6	9	0	11	76
04:00 - 05:00	68	6	12	0	17	103
05:00 - 06:00	82	0	8	0	10	100
06:00 - 07:00	114	9	5	0	12	140
07:00 - 08:00	186	15	3	0	13	217
08:00 - 09:00	305	14	8	0	9	336
09:00 - 10:00	339	26	7	0	10	382
10:00 - 11:00	545	25	14	0	6	590
11:00 - 12:00	661	23	11	0	14	709
12:00 - 13:00	767	26	10	0	10	813
13:00 - 14:00	1101	35	12	0	1	1149
14:00 - 15:00	1314	37	13	0	7	1371
15:00 - 16:00	1456	47	26	1	12	1542
16:00 - 17:00	1550	68	23	0	8	1649
17:00 - 18:00	1488	82	15	1	9	1595
18:00 - 19:00	1585	69	21	0	8	1683
19:00 - 20:00	1416	65	20	0	7	1508
20:00 - 21:00	859	39	9	0	16	923
21:00 - 22:00	517	18	10	0	15	560
22:00 - 23:00	437	19	14	0	25	495
23:00 - 00:00	217	10	7	0	5	239
Total	15380	652	275	2	254	16563

Figura 9. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



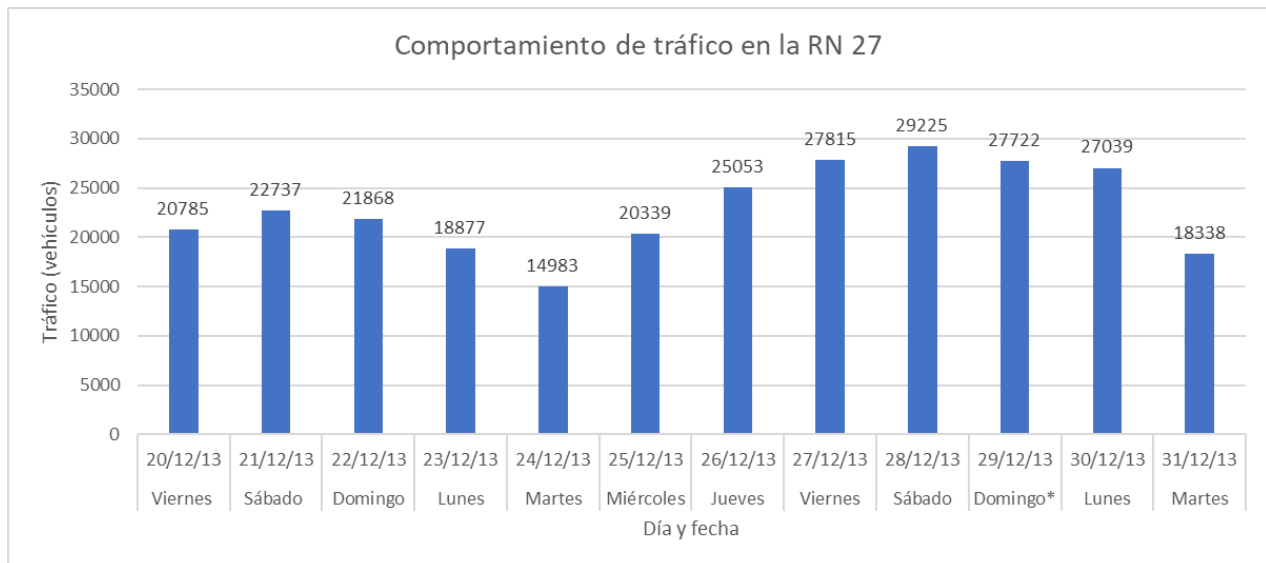
Por otro lado, en la Tabla 10 y en la Figura 10, se muestra un resumen del tráfico vehicular de los días que comprenden el reporte obtenido de diciembre de 2013.

Tabla 10. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 20 al 31 de diciembre del 2013

Comportamiento de tráfico en la RN 27				
Día	Fecha	SJ - CAL	CAL - SJ	Vehículos por día
Viernes	20/12/13	10920	9865	20785
Sábado	21/12/13	13358	9379	22737
Domingo	22/12/13	9616	12252	21868
Lunes	23/12/13	8952	9925	18877
Martes	24/12/13	7371	7612	14983
Miércoles	25/12/13	12144	8195	20339
Jueves	26/12/13	16336	8717	25053
Viernes	27/12/13	17466	10349	27815
Sábado	28/12/13	16587	12638	29225
Domingo*	29/12/13	11159	16563	27722
Lunes	30/12/13	12532	14507	27039
Martes	31/12/13	9649	8689	18338

Nota. El Domingo* 29, la RN 27 funcionó con modalidad carril reversible.

Figura 10. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 20 al 31 de diciembre del 2013



Nota. El Domingo* 29 la RN 27 funcionó con modalidad carril reversible.

También, se recopilamos conteos vehiculares de años más recientes, en diferentes estaciones de conteo a lo largo de la RN 27. La información más reciente que fue utilizada pertenece a los años 2022 y 2023 y se enfocó en las siguientes estaciones de conteo, debido a que hacen parte del trayecto que se habilita en la modalidad de carril reversible de la RN 27. Las estaciones se identifican de la siguiente manera, siendo

el primer número el kilómetro de la ruta en la que se encuentran y el segundo número la cantidad de metros que se avanzan hasta el siguiente cambio de kilómetro:

- Estación 22+450 (Intercambio de Siquiaraes – Coyoil)
- Estación 30+620 (1 kilómetro antes del Intercambio de Atenas, sentido San José – Caldera)
- Estación 41+960 (Intercambio de Escobal)
- Estación 54+950 (1 kilómetro después del Intercambio de Orotina, sentido San José – Caldera)

En la Tabla 11, se muestra el resumen de la estación 30+620 para ambos sentidos, la cual contiene la información del mes de diciembre 2022. En dicha estación de conteo, se presentan los datos más altos registrados de las estaciones seleccionadas.

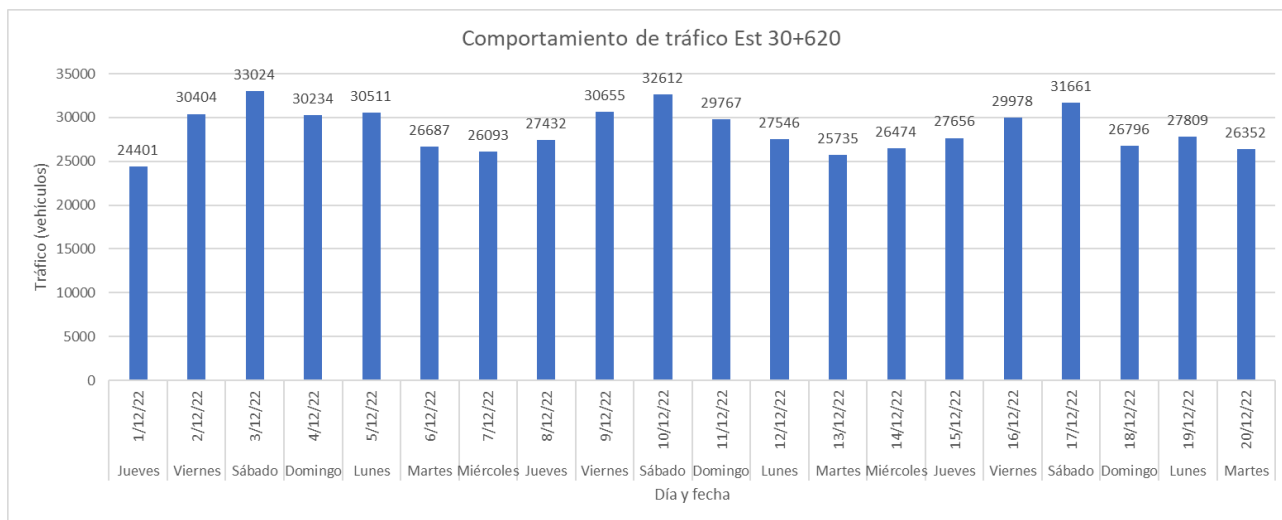
Tabla 11. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 1 al 31 de diciembre del 2022

Comportamiento de tráfico en la RN 27 Est 30+620				
Día	Fecha	Vehículos por día		
		SJ - CAL	CAL - SJ	Totales
Jueves	1/12/22	12344	12057	24401
Viernes	2/12/22	16781	13623	30404
Sábado	3/12/22	18525	14499	33024
Domingo	4/12/22	14287	15947	30234
Lunes	5/12/22	11536	18975	30511
Martes	6/12/22	12913	13774	26687
Miércoles	7/12/22	13141	12952	26093
Jueves	8/12/22	13845	13587	27432
Viernes	9/12/22	16026	14629	30655
Sábado	10/12/22	17262	15350	32612
Domingo	11/12/22	13315	16452	29767
Lunes	12/12/22	13858	13688	27546
Martes	13/12/22	13113	12622	25735
Miércoles	14/12/22	13432	13042	26474
Jueves	15/12/22	14112	13544	27656
Viernes	16/12/22	15841	14137	29978
Sábado	17/12/22	16846	14815	31661
Domingo	18/12/22	12441	14355	26796
Lunes	19/12/22	13830	13979	27809
Martes	20/12/22	13101	13251	26352
Miércoles	21/12/22	13504	13804	27308
Jueves	22/12/22	13886	13929	27815
Viernes	23/12/22	15422	14452	29874
Sábado	24/12/22	12346	10439	22785
Domingo	25/12/22	15507	11892	27399
Lunes	26/12/22	17660	13312	30972
Martes	27/12/22	16941	13254	30195
Miércoles	28/12/22	16939	13870	30809
Jueves	29/12/22	17161	15379	32540
Viernes	30/12/22	17402	16681	34083
Sábado	31/12/22	12775	11747	24522
Promedio				28714

Nota. El lunes 05 de diciembre la RN 27 funcionó con modalidad reversible.

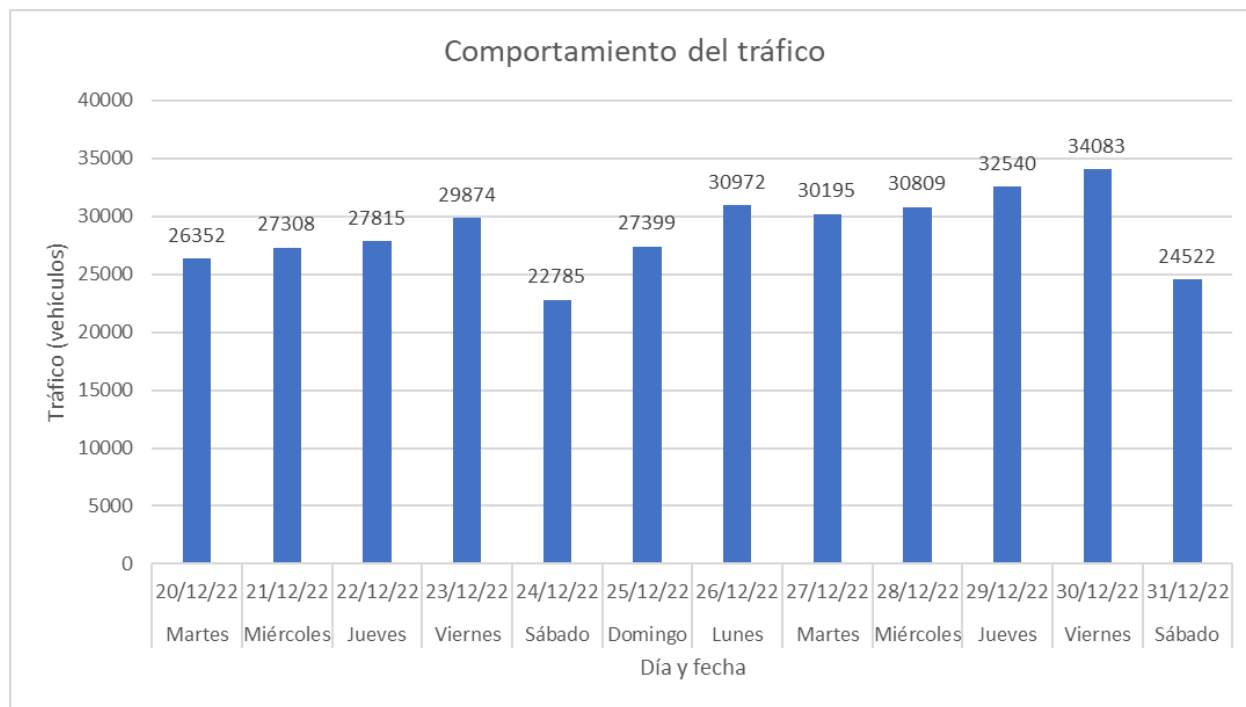
Por su parte, en las figuras 11 y 12, se muestra -de manera gráfica- la cantidad de vehículos que pasaron por dicha estación de conteo en el mes de diciembre 2022, teniendo en cuenta que el día 5 de diciembre se aplicó la modalidad de carril reversible en la ruta.

Figura 11. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 1 al 20 de diciembre del 2022



Nota. El lunes 05 de diciembre la RN 27 funcionó con modalidad reversible.

Figura 12. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 20 al 31 de diciembre del 2022



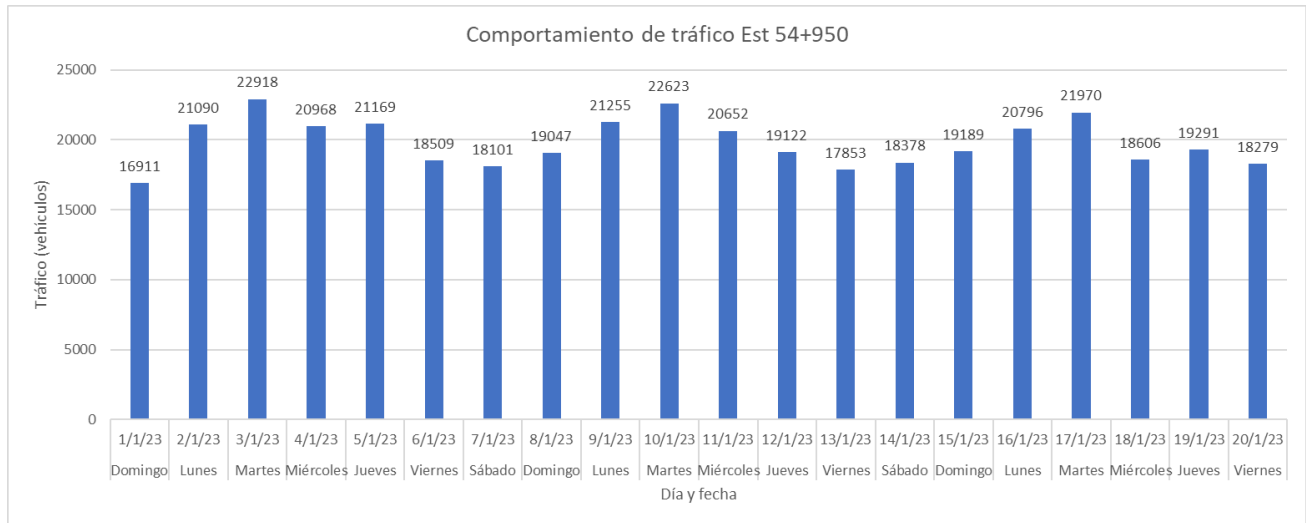
De la misma manera, se presentan los datos del mes de enero de 2023, siendo estos los datos más recientes disponibles hasta la fecha de realización de este proyecto. En la Tabla 12, se observa un resumen de la estación de conteo 54+950, que presenta la mayor cantidad de flujo vehicular del mes en cuestión, destacando que dicha estación de conteo es la que se encuentra más cercana al peaje de Pozón, punto donde inicia el carril reversible cuando se aplica esta modalidad. También, en las figuras 13 y 14, se muestra la misma información, pero de manera gráfica.

Tabla 12. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 1 al 31 de enero del 2023

Comportamiento de tráfico en la RN 27 Est 54+950				
Día	Fecha	Vehículos por día		
		SJ - CAL	CAL - SJ	Totales
Domingo	1/1/23	8562	8349	16911
Lunes	2/1/23	11642	9448	21090
Martes	3/1/23	12860	10058	22918
Miércoles	4/1/23	9906	11062	20968
Jueves	5/1/23	8001	13168	21169
Viernes	6/1/23	8954	9555	18509
Sábado	7/1/23	9121	8980	18101
Domingo	8/1/23	9614	9433	19047
Lunes	9/1/23	11108	10147	21255
Martes	10/1/23	11979	10644	22623
Miércoles	11/1/23	9231	11421	20652
Jueves	12/1/23	9621	9501	19122
Viernes	13/1/23	9098	8755	17853
Sábado	14/1/23	9324	9054	18378
Domingo	15/1/23	9791	9398	19189
Lunes	16/1/23	10987	9809	20796
Martes	17/1/23	11697	10273	21970
Miércoles	18/1/23	8646	9960	18606
Jueves	19/1/23	9598	9693	19291
Viernes	20/1/23	9093	9186	18279
Sábado	21/1/23	9369	9572	18941
Domingo	22/1/23	9633	9656	19289
Lunes	23/1/23	10704	10036	20740
Martes	24/1/23	8566	7246	15812
Miércoles	25/1/23	10766	8236	19002
Jueves	26/1/23	12256	9233	21489
Viernes	27/1/23	11747	9197	20944
Sábado	28/1/23	11753	9632	21385
Domingo	29/1/23	11912	10660	22572
Lunes	30/1/23	12074	11574	23648
Martes	31/1/23	8863	8160	17023
Promedio				19922

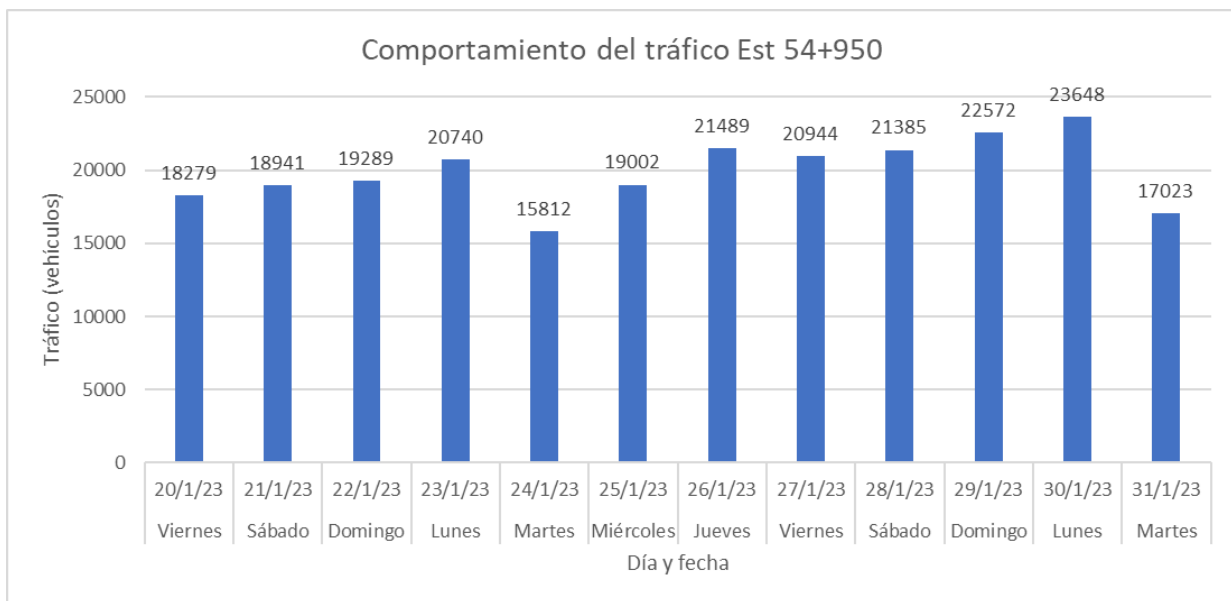
Nota. Los domingos 8, 15, 22 y 29 se aplicó la modalidad de reversibilidad de carriles.

Figura 13. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 1 al 20 de enero del 2023



Nota. Los domingos 8 y 15 se aplicó la modalidad de carril reversible en la RN 27.

Figura 14. Resumen del comportamiento de tráfico diario, comprendido del 1 al 20 de enero del 2023



Nota. Los domingos 22 y 29 se aplicó la modalidad de carril reversible en la RN 27.

Dentro de los datos recopilados, se tienen los conteos vehiculares en los peajes de cobro pertenecientes a la Ruta Nacional N°27, de los cuales se escogieron los que hacen parte del rango del caso en estudio, para poder comparar los datos obtenidos en las estaciones de conteo vehicular situadas en diferentes kilómetros a lo largo de la ruta con los representados en los peajes de cobro. De esta manera, es identificar el comportamiento del flujo vehicular en determinados puntos de la ruta y tener insumos suficientes para poder abarcar todo el tramo de estudio.

Se tiene el conteo de flujo vehicular de los meses de diciembre 2022, enero 2023 y abril 2023 de los peajes de cobro; cada peaje posee diferentes líneas o carriles de cobro disponibles, que pueden presentar menor o mayor flujo de vehículos en comparación con algún otro carril del mismo peaje en el mismo sentido, sin embargo, aunque se tiene el conteo horario, se toma como dato la suma de todas las líneas de cobro para realizar los cálculos correspondientes.

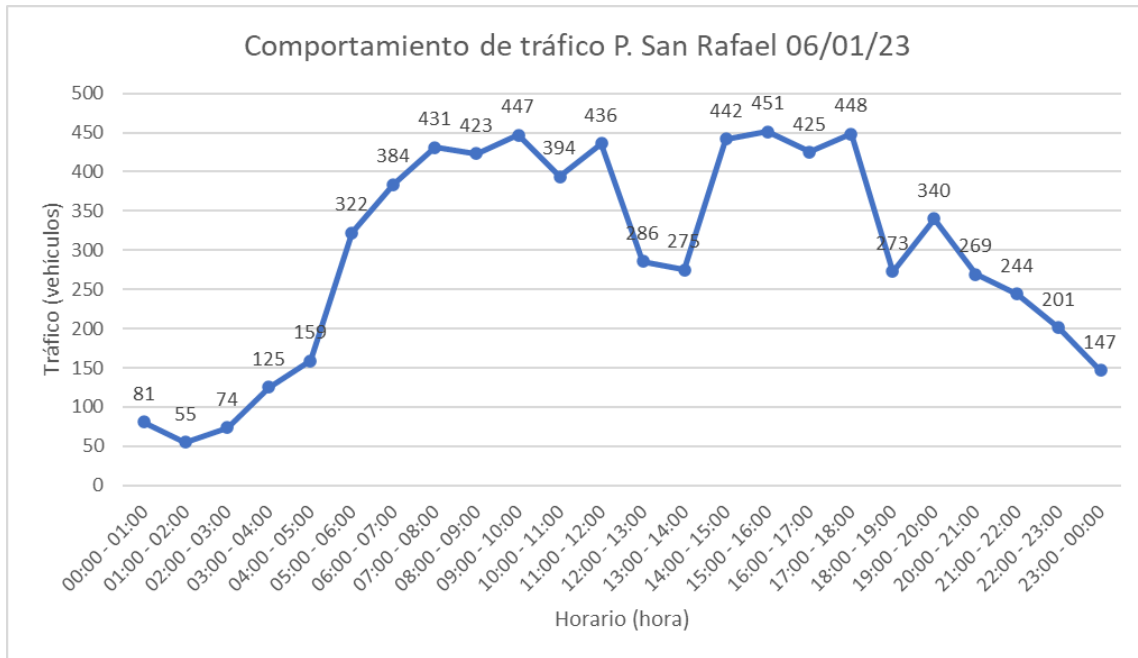
A continuación, se muestra el comportamiento horario de una línea del peaje ubicado en San Rafael de Alajuela, esto para ejemplificar el funcionamiento de las estaciones de cobro y cómo estas recopilan los datos de flujo vehicular (ver Tabla 13).

Tabla 13. Comportamiento del tráfico en el peaje de cobro San Rafael, línea de cobro 305 SJ-CAL

Tráfico Horario Enero 2023						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Viernes 06/Enero/2023					
Horario	Livianos	Autobuses	Pesados 2 y 3	Pesados 4	Pesados 5+	Total
00:00 - 01:00	68	1	9	2	1	81
01:00 - 02:00	35	3	13	1	3	55
02:00 - 03:00	48	2	17	3	4	74
03:00 - 04:00	83	4	26	0	12	125
04:00 - 05:00	119	2	24	0	14	159
05:00 - 06:00	212	20	63	0	27	322
06:00 - 07:00	320	19	36	3	6	384
07:00 - 08:00	382	6	23	7	13	431
08:00 - 09:00	365	12	37	3	6	423
09:00 - 10:00	382	10	37	2	16	447
10:00 - 11:00	334	2	31	2	25	394
11:00 - 12:00	368	4	47	1	16	436
12:00 - 13:00	240	4	33	0	9	286
13:00 - 14:00	231	4	26	3	11	275
14:00 - 15:00	391	4	32	5	10	442
15:00 - 16:00	382	7	42	3	17	451
16:00 - 17:00	386	8	19	2	10	425
17:00 - 18:00	423	4	15	0	6	448
18:00 - 19:00	261	1	8	0	3	273
19:00 - 20:00	321	6	8	2	3	340
20:00 - 21:00	247	2	13	0	7	269
21:00 - 22:00	228	5	7	0	4	244
22:00 - 23:00	184	3	10	0	4	201
23:00 - 00:00	138	3	4	0	2	147
Total	6148	136	580	39	229	7132

La información presentada anteriormente, también se representa gráficamente en la Figura 15, donde es posible identificar las horas pico de esta línea específica.

Figura 15. Gráfica de comportamiento horario en el peaje San Rafael línea de cobro 305 SJ-CAL



A continuación, en la Tabla 14, se muestra detalladamente la cantidad de vehículos que pasan a través de cada una de las líneas o carriles de cobro en el peaje de San Rafael de Alajuela. Estos conteos son diarios y se muestra específicamente el valor de aporte al total de vehículos que pasan por dicho peaje; además, se puede observar los días en los que el flujo vehicular aumenta y en cuáles días tiende a disminuir este valor.

Tabla 14. Resumen comportamiento de tráfico en el peaje San Rafael sentido SJ-CAL

Comportamiento de tráfico en la RN 27 Peaje San Rafael SJ - CAL								
Día	Fecha	Vehículos por día						Totales
		301 SJ - CAL	302 SJ - CAL	303 SJ - CAL	304 SJ - CAL	305 SJ - CAL	306 SJ - CAL	
Domingo	1/1/23	1973	2326	2073	1740	3457	0	11569
Lunes	2/1/23	2840	2500	2766	2548	6040	0	16694
Martes	3/1/23	4109	2466	2520	2474	6225	0	17794
Miércoles	4/1/23	3956	2424	2585	2677	6570	0	18212
Jueves	5/1/23	4439	2523	2738	2555	6833	0	19088
Viernes	6/1/23	4966	2673	2933	2770	7132	0	20474
Sábado	7/1/23	4770	2916	3006	2683	6467	0	19842
Domingo	8/1/23	2790	2547	1501	1550	3261	0	11649
Lunes	9/1/23	4159	2531	2779	2600	6633	0	18702
Martes	10/1/23	4861	2570	2742	2398	6557	0	19128
Miércoles	11/1/23	4764	2510	2712	2560	7119	0	19665
Jueves	12/1/23	4748	2692	2717	2851	7314	0	20322
Viernes	13/1/23	6142	2911	3147	3046	7107	0	22353
Sábado	14/1/23	4371	3130	2643	2679	6916	0	19739
Domingo	15/1/23	2631	2581	1685	1605	3606	0	12108
Lunes	16/1/23	4948	2863	2791	2542	6900	0	20044
Martes	17/1/23	4881	2495	2539	2682	7114	0	19711
Miércoles	18/1/23	5154	2416	2845	2777	7372	0	20564
Jueves	19/1/23	5419	2707	2825	2814	7712	0	21477
Viernes	20/1/23	5928	3367	3113	2833	8283	0	23524
Sábado	21/1/23	5157	3556	3271	2859	7317	0	22160
Domingo	22/1/23	3353	2906	1836	1790	3161	0	13046
Lunes	23/1/23	4677	2741	2796	2663	7061	0	19938
Martes	24/1/23	4907	2760	2732	2725	7334	0	20458
Miércoles	25/1/23	5072	2699	2670	2747	7159	0	20347
Jueves	26/1/23	5102	2774	2960	2788	7614	0	21238
Viernes	27/1/23	8152	3210	2929	3603	4591	1	22486
Sábado	28/1/23	6448	3384	3087	3416	5218	57	21610
Domingo	29/1/23	3097	2894	1787	1618	3836	0	13232
Lunes	30/1/23	4930	2688	3044	2633	6905	0	20200
Martes	31/1/23	4868	2472	2895	2571	7145	0	19951
Promedio								18946

Nota. Los domingos 8, 15, 22 y 29 se aplicó la modalidad de reversibilidad de carriles.

También, se obtuvieron los datos de los demás peajes de cobro que están dentro del rango de estudio de la carretera, que son los siguientes:

- Peaje San Rafael.
- Peaje Atenas.
- Peaje Pozón.

Seguidamente, se muestra el flujo vehicular que pasa por el peaje de Atenas, en sentido San José – Caldera, en el mes de enero 2023, así como el promedio diario de cada una de las categorías vehiculares (ver Tabla 15).

Tabla 15. Comportamiento y promedio diario del flujo vehicular que pasa por el peaje de Atenas en sentido SJ-CAL

Tráfico Horario Enero 2023						
Sentido San José - Caldera						
Peaje	Livianos	Autobuses	Pesados 2 y 3	Pesados 4	Pesados 5+	Total
Atenas	306605	13030	23322	1476	23036	367469
Promedio diario	9890	420	752	48	743	11854

Utilizando la metodología descrita en el HCM (2010), se realizaron los cálculos para determinar el nivel de servicio de la carretera en los tramos que se separó la ruta. Para la clasificación de nivel de servicio a la que corresponde cada sección multicarril (Multilane) analizada de la ruta, se utilizó la Tabla 16; además, las secciones presentan una velocidad máxima de 80 km/h (49.7 mi/h) indicada en la señalización vial existente en estos tramos, según lo menciona el HCM (2010) en la sección de tramos multicarril; a la velocidad máxima indicada, se le añaden 5 mi/h para realizar la estimación de la velocidad de flujo libre.

Tabla 16. Clasificación de carreteras multicarril según la densidad y velocidad de flujo libre (FFS- Free Flow Speed)

LOS	FFS (mi/h)	Density (pc/mi/ln)
A	All	>0-11
B	All	>11-18
C	All	>18-26
D	All	>26-35
E	60	>35-40
	55	>35-41
	50	>35-43
	45	>35-45
F	Demand Exceeds Capacity	
	60	>40
	55	>41
	50	>43
	45	>45

Fuente: Highway Capacity Manual (2010).

A continuación, en la Tabla 17, se muestra un resumen de los resultados obtenidos con respecto al nivel de servicio en las secciones multicarril (Multilane) de la RN 27.

Tabla 17. Resumen de nivel de servicio de las secciones multicarril de la Ruta Nacional N°27, año 2023

Secciones multicarril y nivel de servicio (LOS)						
Tramo	Desde	Hasta	Longitud (m)	Pendiente %	Nivel de servicio (LOS)	Nivel de servicio reversible (LOS)
COYOLAR	58+100	57+000	1100	-0.45	B	C
MIRAFLORES	55+700	55+300	400	10	B	D
OROTINA	53+600	52+400	1200	1.92	B	D
ESCOBAL	42+900	41+500	1400	0.05	C	D
MANGOS	38+300	37+700	600	6	C	D
BALSA	35+500	34+200	1300	1.81	B	D
ATENAS	32+400	31+000	2400	1.02	C	D
TURRUCARES	26+800	25+900	900	2.83	B	D
SIQUIARES	23+000	22+000	1000	1.05	B	C
LA GUACIMA	19+400	18+700	700	0.6	B	D
SAN RAFAEL	17+800	17+350	450	0.88	B	D

Para el cálculo de nivel de servicio, se utilizaron los mayores flujos obtenidos entre el mes de diciembre de 2022 y el mes de enero de 2023, a fin de reflejar el momento más crítico del nivel de servicio de la ruta en el plazo estudiado.

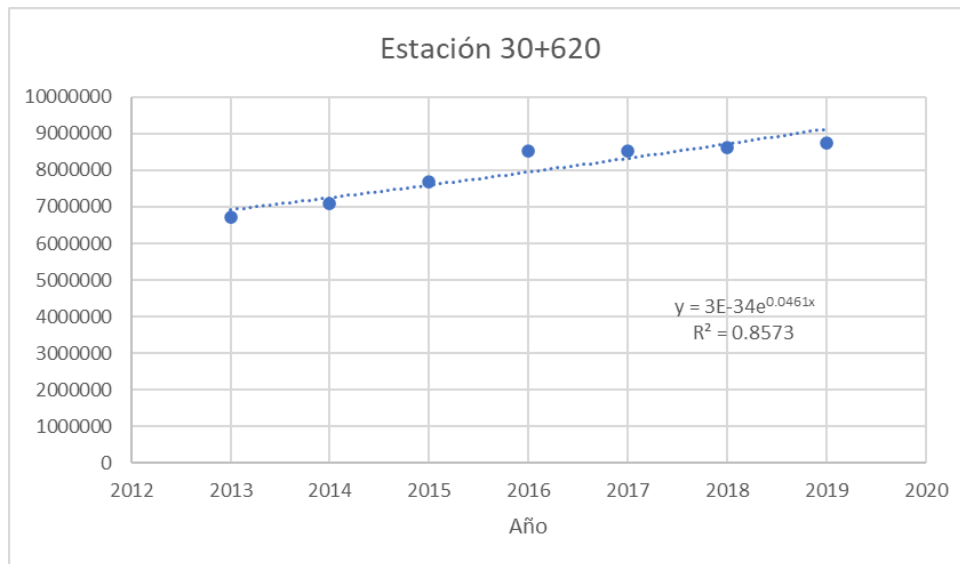
A continuación, en la Tabla 18 y en la Figura 16, se muestra un resumen indicando los resultados obtenidos con respecto al crecimiento vehicular registrado entre los años 2013 y 2019, en las estaciones de conteo vehicular que pertenecen a la Ruta Nacional n.º 27 y que forman parte del rango en estudio.

Dichos datos se analizaron únicamente en esta temporalidad, debido a la pandemia ocasionada por la enfermedad SARS-CoV-2 (COVID-19), que ingresó al país en el año 2020, lo cual generó un comportamiento inusual en cuanto a crecimiento y flujo vehicular a lo largo de la red vial del país.

Tabla 18. Resumen del flujo vehicular anual que pasa por la Ruta Nacional N°27, en el rango y temporalidad en estudio

Cantidad de vehículos registrados anualmente				
Año	Estación			
	22+450	30+620	41+960	54+950
2013	3138003	6719357	6298950	5858959
2014	4042378	7086500	6503617	6072065
2015	4849951	7680345	6670720	6582259
2016	5460559	8516115	7570930	6924111
2017	5316786	8525302	7712277	7038571
2018	2540084	8629178	7514300	7502800
2019	5985299	8750529	7956922	7643684

Figura 16. Representación gráfica del crecimiento vehicular en la estación 30+620 de la Ruta Nacional n.º 27 en el periodo 2013–2019, con línea de tendencia exponencial. En el eje “Y” se presenta la cantidad total de vehículos por año y en el eje “X” el año correspondiente al conteo



El crecimiento vehicular obtenido en esta temporalidad es -en promedio- un 4.09 % anual, esto descartando la estación 22+450, que presenta una carencia en la continuidad de la recopilación de información en el año 2018 (el motivo del no registro del flujo vehicular se desconoce).

A continuación, en la Tabla 19, se muestra un resumen indicando la cantidad de años restantes para que la demanda sobrepase la capacidad de la carretera y esta entre en un nivel de servicio F, el cual es el nivel de servicio más bajo posible, donde el tránsito es prácticamente imposible. Dicho cálculo se realizó utilizando la ecuación de valor ganado a lo largo del tiempo.

Tabla 19. Resumen de nivel de servicio proyectado para que la demanda vehicular sobrepase la capacidad de las secciones multicarril de la Ruta Nacional N°27

Años restantes para que la demanda sobrepase la capacidad				
Tramo	Desde	Hasta	LOS Reversible 2023	Años restantes
COYOLAR	58+100	57+000	C	13
MIRAFLORES	55+700	55+300	D	6
OROTINA	53+600	52+400	D	10
ESCOBAL	42+900	41+500	D	6
MANGOS	38+300	37+700	D	6
BALSA	35+500	34+200	D	10
ATENAS	32+400	31+000	D	10
TURRUCARES	26+800	25+900	D	10
SIQUIARES	23+000	22+000	C	19
LA GUACIMA	19+400	18+700	D	6
SAN RAFAEL	17+800	17+350	D	6

Análisis de resultados

Al analizar el flujo vehicular presentado en diciembre del 2013, se puede observar que hay un mayor flujo vehicular en el sentido Caldera – San José, siendo este valor de 890 vehículos por hora. También, se obtiene que, al momento de aplicar la modalidad de carril reversible en la ruta, no se registran vehículos en sentido San José – Caldera en la franja horaria de 2:00 p. m. – 7:00 p. m., debido a que se solía cerrar el carril con ese sentido en los intercambios. El mayor flujo vehicular registrado en la estación de conteo es de 1683 vehículos por hora en sentido Caldera – San José, esto en el momento en que se aplicaba la modalidad de carril reversible en la Ruta Nacional N°27.

En el flujo vehicular más reciente, se puede visualizar un alza con respecto a la registrada en el año 2013; estos datos se refieren a los suministrados por parte de la oficina de planificación sectorial del MOPT. También, a lo largo de la semana -en la estación de conteo 30+620 y 54+950- se puede notar uniformidad en el flujo vehicular, siendo miércoles el día donde se presenta un menor flujo vehicular en la Ruta Nacional n.º 27 y los días de fin de semana y cercanos a este es donde se presenta un mayor densidad de tráfico.

Para analizar de una forma más intuitiva, se creó la siguiente tabla de equivalencias numéricas (Tabla 20) con respecto al nivel de servicio, para comparar los datos y tener un punto de vista más claro y amplio.

Tabla 20. *Tabla de equivalencia numérica con referencia al nivel de servicio (LOS) indicado en el HCM (2010)*

Tabla de equivalencia	
Nivel de servicio	Equivalencia
A	1
B	2
C	3
D	4
E	5
F	6

En las figuras 3 y 4, se describen los niveles de servicio y se ejemplifica -mediante fotografías- cómo sería en la realidad cada uno de los niveles. Con respecto al nivel de servicio obtenido para las secciones multicarril (Multilane) en modalidad de operación normal, teniendo habilitados 2 carriles por sentido, se obtuvieron resultados de nivel de servicio (Level of Service) B y C, siendo este un nivel favorable y aceptable respectivamente para la ruta.

En el caso de la modalidad de carril reversible en la Ruta Nacional N°27, en las secciones multicarril (Multilane) donde se habilitarían 2 carriles en un único sentido para canalizar todo el flujo vehicular, se obtuvo

-en su mayoría- un nivel de servicio D y en menor proporción nivel de servicio C, estos resultados quedan dentro del rango aceptable para los parámetros o expectativas del MOPT, sin embargo, la literatura indica que el nivel de servicio C es aceptable y por otra parte el nivel de servicio D es preocupante para el funcionamiento de la ruta.

Tabla 21. Equivalencia nivel de servicio en modalidad normal de las secciones multicarril de la Ruta Nacional N°27, año 2023

Equivalencia Nivel de servicio (LOS) 2023		
Tramo	Nivel de servicio (LOS)	Equivalencia
COYOLAR	B	2
MIRAFLORES	B	2
OROTINA	B	2
ESCOBAL	C	3
MANGOS	C	3
BALSA	B	2
ATENAS	C	3
TURRUCARES	B	2
SIQUIARES	B	2
LA GUACIMA	B	2
SAN RAFAEL	B	2
Promedio		2.27

En el crecimiento vehicular medido utilizando los datos suministrados por parte de la Oficina de Planificación Sectorial del MOPT, en el periodo que comprende desde el año 2013 al 2019, arrojó el resultado de un 4.09 % de crecimiento anual en el flujo vehicular que pasa por las estaciones de conteo que pertenecen al tramo de la carretera en estudio. También, se pudo observar una anomalía en el conteo vehicular perteneciente a la estación de conteo 22+450, ya que no se presentan datos correspondientes al mes de octubre y la mitad del mes de noviembre del año 2018 por motivos que se desconocen.

Gracias a lo anterior, se generó un error considerable en el total del conteo anual. Debido a esta situación, se decidió descartar los datos correspondientes a la estación 22+450, para calcular el crecimiento del flujo vehicular de la Ruta Nacional N°27. Al utilizar el resto de las estaciones de conteo vehicular, se obtuvo la tasa de crecimiento anteriormente mencionada.

Para calcular la proyección de vehículos que van a pasar por la ruta en los años siguientes, se utilizó el mismo porcentaje de vehículos pesados correspondiente a cada uno de los tramos en el mes de enero 2023; este cálculo indicó que -en tramos específicos- la demanda vehicular llegará a superar la capacidad de la carretera en un plazo máximo de 6 años, utilizando una velocidad media de 72.42 km/h (45 mi/h), que son los mínimos indicados por la metodología utilizada en este tipo de carretera multicarril, siendo este el menor plazo de todos los tramos analizados. Dichas secciones son las correspondientes a los tramos de San Rafael, La Guácima, Mangos, Escobal y Miraflores.

Cabe destacar que los resultados anteriores pueden verse afectados por diversas razones, por ejemplo, los intercambios de San Rafael y La Guácima son tramos donde el flujo vehicular es mayor con respecto a los tramos Mangos, Escobal y Miraflores, pero, en los tramos donde hay un menor flujo vehicular, pesa el hecho de la topografía del terreno y -con esto- influye el porcentaje de vehículos pesados que pasan por esta ruta, al realizar el cálculo de vehículos equivalentes con el factor de vehículos pesados que aumenta debido a la topografía del terreno.

Por otro lado, el plazo más largo proyectado es de 19 años, que corresponde al tramo que se encuentra en el intercambio de Siquiaries, lo cual indica que, gracias a la topografía del terreno y el flujo vehicular que pasa por esa estación de conteo, se tiene un margen de acción amplio con respecto a los demás tramos.

Tabla 22. Tabla de equivalencia numérica con referencia al nivel de servicio (LOS) indicado en el HCM (2010)

Tabla de equivalencia		
Tramo	LOS Reversible 2023	Equivalencia
COYOLAR	C	3
MIRAFLORES	D	4
OROTINA	D	4
ESCOBAL	D	4
MANGOS	D	4
BALSA	D	4
ATENAS	D	4
TURRUCARES	D	4
SIQUIARES	C	3
LA GUACIMA	D	4
SAN RAFAEL	D	4
Promedio		3.82

A partir de la Tabla 22, se realiza una equivalencia en los valores para visualizar mejor el nivel de servicio de los tramos en estudio; con el valor promedio, se puede observar que el nivel de servicio se encuentra más cercano para llegar -en su totalidad- al nivel de servicio D, que es un nivel donde la velocidad de operación de la ruta disminuye y aumenta la probabilidad de que suceda congestión vial (en las páginas 18 y 19 de este documento, se encuentran descritos los distintos niveles de servicio).

Para la selección del señalamiento vial a utilizar en el protocolo de intervención vial a la Ruta Nacional n. °27 en modalidad de carril reversible, se utilizó como base y referencia el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (2015). Dicha selección comprende señalamiento vial vertical, como también dispositivos de control temporal de tránsito, priorizando la seguridad vial que requiere la Ruta Nacional n.° 27 para su correcto funcionamiento en modalidad de carril reversible y la fluidez del tránsito que circula por la ruta, para que se genere la mínima distorsión en este al aplicar la reversibilidad de carriles (dicho documento se encuentra en un anexo adjunto a este informe).

Conclusiones

- Se determinó la capacidad de los tramos de la Ruta Nacional N°27, en los que se dividió la carretera para analizarlos de forma correcta, utilizando el periodo de diciembre 2022 y enero 2023, siendo dichos datos los más recientes utilizados para la realización de este proyecto. El nivel de servicio obtenido en los tramos Coyolar, Miraflores, Orotina, Balsa, Turrúcares, Siquiaries, La Guácima y San Rafael en modalidad normal de la carretera corresponde a nivel de servicio B (2), lo cual indica un nivel de servicio favorable para la ruta; además, los tramos Escobal, Mangos y Atenas presentan un nivel de servicio C (3) en modalidad de funcionamiento normal y utilizando la tabla de equivalencia propuesta se tiene un promedio de 2.27, lo que indica que la ruta se encuentra mayormente más cercana a nivel de servicio B (2) y con probabilidad de aumentar al nivel de servicio C (3) en un plazo cercano.
- Por otro lado, en modalidad de carril reversible, los tramos que presentan un nivel de servicio D (4) son Miraflores, Orotina, Balsa, Escobal, Mangos, Atenas, Turrúcares, La Guácima y San Rafael. Los tramos Coyolar y Siquiaries presentan un nivel de servicio C (3), siendo este nivel de servicio aceptable para esta ruta; sin embargo, se le debe prestar especial atención para realizar ampliaciones en la vía y no llegar al colapso de la carretera. Debido a que en la mayoría de los tramos se presenta un nivel de servicio D (4) y estos se encuentran con una demanda cercana a su capacidad, es probable un pronto colapso en la aplicación de la modalidad de carril reversible utilizando únicamente 2 carriles en los intercambios donde haya 4 carriles disponibles. El HCM (2022) indica que -en el nivel de servicio D- las velocidades empiezan a disminuir con el aumento de flujo vehicular, la libertad de maniobrar se ve seriamente limitada y se reduce el confort físico y psicológico de los usuarios, además de que se pueden crear grandes filas por incidentes menores.
- Con respecto al cálculo de la cantidad de años disponibles para la aplicación de carril reversible utilizando únicamente 2 carriles en intercambios, se determinó el crecimiento vehicular que pasa por las estaciones de conteo a lo largo de la Ruta Nacional n.º 27 en el periodo de enero 2013 a diciembre 2019, lo cual arrojó un crecimiento vehicular promedio de 4.09 %; dicho crecimiento se utilizó para calcular la cantidad de años disponibles sin tener ampliaciones en la ruta para aplicar el carril reversible. Además, se determinó que los tramos que tienen menor cantidad de años disponibles son los tramos de San Rafael, La Guácima, Mangos, Escobal y Miraflores, que cuentan con un máximo

de 6 años disponibles para que la demanda vehicular sobrepase la capacidad de la carretera y se clasifiquen como nivel de servicio F, que significa un nivel de servicio donde los vehículos no fluyen y se genera el colapso de la vía debido al congestionamiento vial. Específicamente, el HCM (2022) indica que, para el nivel de servicio F, la demanda puede sobrepasar la capacidad en un lugar determinado, se presenta un flujo inestable, se forman colas en los cuellos de botella, puede reducir la capacidad temporalmente en un segmento corto y existen pocos o nulos espacios para maniobrar entre carriles.

- En la señalización seleccionada para realizar la intervención en el señalamiento vial de la Ruta Nacional n.º 27 en la modalidad de carril reversible sentido Caldera – San José, se encuentra el señalamiento de prevención, información y reglamentación, como también dispositivos de control temporal de tránsito vehicular para canalizar el flujo de vehículos cuando se requiera. Hay que agregar que las señalizaciones que se utilizan son de fondo color naranja, específicamente de color Pantone código 021 CV, el cual se indica como el color seleccionado para prevención de situaciones temporales, específicamente en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015), en el capítulo 1 de Disposiciones Generales. A continuación, se presenta una parte de la selección del señalamiento vial, así como también los canalizadores temporales de tránsito (ver figuras 17, 18 y 19).

Figura 17. Señalamiento vial temporal que indica desvío adelante



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 18. Señalamiento vial temporal que indica vía izquierda cerrada



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 19. Señalamiento vial temporal que indica desvío de ambos carriles hacia la derecha



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Por otro lado, también se seleccionaron dispositivos de control de tránsito para canalizar el flujo vehicular que pasa por los intercambios. A continuación, se presentan ejemplos de estos dispositivos (ver figuras 20, 21 y 22).

Figura 20. *Dispositivo de canalización de tránsito tipo cono*



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 21. *Dispositivo de canalización de tránsito tipo barril*



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 22. *Dispositivo de canalización de tránsito tipo cilindro de tránsito*



Fuente. Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

- El protocolo para intervenir el señalamiento vial de la Ruta Nacional n.º 27 se encuentra anexo a este informe.

Recomendaciones

- Este informe no solo ofrece una base sólida para la aplicación de carriles reversibles en la Ruta Nacional N°27, sino que también insta a la personas interesadas en este tópico a profundizar en el tema y, además, proporciona un marco de referencia para futuras investigaciones y proyectos de mejora en el ámbito de la ingeniería de tránsito y seguridad vial en Costa Rica.
- Se recomienda, al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), realizar el análisis de posibles soluciones para la implementación del carril reversible en la Ruta Nacional N°27, debido al poco tiempo restante para que la demanda vehicular sobrepase la capacidad de la vía, así como un análisis para futuras ampliaciones necesarias en la carretera.
- Además, se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) mantener controles de velocidad a lo largo de la ruta, para disminuir accidentes en la vía ocasionados por exceso de velocidad cuando se utilice la modalidad de carril reversible. Dichos controles se pueden realizar manteniendo oficiales de tránsito presentes en el sitio o por medio de dispositivos automáticos que registren y proyecten la velocidad en un lugar visible para el usuario; gracias a esto, el usuario se percata de la situación y es más consciente de la velocidad a la que transita.
- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), analizar constantemente el nivel de servicio de los diferentes tramos de la carretera, para que se cumpla con un funcionamiento fluido.
- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) o entidad pertinente, generar un proceso o método de conteo vehicular alternativo, para que, cuando los dispositivos no se encuentren habilitados, en buenas condiciones o se encuentren en mantenimiento, no se pierda el importante insumo referente al conteo vehicular.

Referencias

- Bermúdez, J., & Ríos, D. (2016). *Estudio de la capacidad vial y los niveles de servicio que ofrece la intersección semaforizada Ruiz Pineda, ubicada en la parroquia Marhuanta, Ciudad Bolívar - Estado Bolívar*. Universidad de Oriente.
- Cal, R., Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones* (8.ª ed.). <https://acortar.link/LPaFM2>
- Corrales, E. (2023, 24 de julio). Motociclista muere tras chocar de frente contra carro en Ruta 27. *Teletica*. <https://acortar.link/kNbvZ0>
- Decreto Ejecutivo N° 31363-MOPT del 2003. Por medio del cual se expide el reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga. 23 de setiembre de 2003. La Gaceta N.º 182. <https://acortar.link/9yDyi8>
- Decreto Ejecutivo N° 38799-MOPT del 2015. Por medio del cual se expide el reglamento de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías. 24 de junio de 2015. La Gaceta N.º 45. <https://acortar.link/djZkck>
- Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT). (2014). *Tráfico horario del 20 al 31 de diciembre 2013*.
- Ecuaconductos. (2014). *Barrera vehicular tipo New Jersey*. <https://cutt.ly/1wVt5zO5>
- Federal Highway Administration, & U.S. Department of Transportation. (2022). *Traffic monitoring guide*. Federal Highway Administration. <https://acortar.link/rEznc>
- Globalvia. (2023). *Reversibilidad – Ruta 27*. <https://globalviaruta27.com/reversibilidad/>
- Google Earth. (2023). *Imagen satelital sobre la Ruta Nacional N° 27*.
- May, S. (2023, 4 de enero). Ruta 27 tendrá carril reversible todos los domingo de enero. *Delfino.cr*. <https://acortar.link/msVODa>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (1992). *Señales verticales de circulación. Tomo II. Catálogo y Significado de las Señales*. <https://acortar.link/rSK97n>

Oficina de Planificación Sectorial. (2023). *Información de tráfico horario del 2022, enero y febrero de 2023 en las estaciones de conteo vehicular del MOPT.*

PITRA - LANAMME. (2013). *Evaluación de velocidades en el carril reversible, Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera.* <https://acortar.link/w1TpJU>

PITRA - LANAMME. (2015). *Análisis de capacidad de la Ruta Nacional N°2, para la troncal de la Autopista Florencio del Castillo, en el tramo Hacienda Vieja, Curridabat – Cruce La Lima, Cartago.*
<https://acortar.link/6BTdpW>

Rodríguez, R. (2013, 26 de diciembre). Carriles reversibles en ruta 27 este fin de semana. *La República.*
<https://acortar.link/YDbKA6>

SIECA. (2014). *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito.*
<https://acortar.link/wS3hLk>

Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual.*

Transportation Research Board. (2022). *Highway Capacity Manual.*

Zúñiga, J. (2018). *Evaluación del deterioro de los puentes de la ruta nacional 39 en función del tránsito promedio diario* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.
<https://acortar.link/8cFfKQ>

Anexos

Anexo 1

Tabla 23. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Sábado 21/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	130	34	17	0	11	192
01:00 - 02:00	93	17	19	0	4	133
02:00 - 03:00	75	10	21	0	12	118
03:00 - 04:00	107	16	23	0	8	154
04:00 - 05:00	293	16	39	2	18	368
05:00 - 06:00	464	34	49	4	15	566
06:00 - 07:00	628	50	56	6	37	777
07:00 - 08:00	768	78	41	4	15	906
08:00 - 09:00	827	75	40	4	13	959
09:00 - 10:00	787	50	40	3	25	905
10:00 - 11:00	915	39	27	1	27	1009
11:00 - 12:00	830	41	17	8	22	918
12:00 - 13:00	789	33	26	1	20	869
13:00 - 14:00	631	36	16	2	18	703
14:00 - 15:00	668	58	18	0	38	782
15:00 - 16:00	718	39	15	1	30	803
16:00 - 17:00	540	44	22	1	20	627
17:00 - 18:00	494	51	14	0	16	575
18:00 - 19:00	365	30	10	1	19	425
19:00 - 20:00	317	16	13	1	20	367
20:00 - 21:00	295	26	11	0	14	346
21:00 - 22:00	285	22	6	0	13	326
22:00 - 23:00	268	30	9	0	3	310
23:00 - 00:00	194	22	3	0	1	220
Total	11481	867	552	39	419	13358

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 23. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 24. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Domingo 22/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	132	27	9	0	1	169
01:00 - 02:00	93	14	5	0	2	114
02:00 - 03:00	64	12	7	0	1	84
03:00 - 04:00	100	8	10	0	5	123
04:00 - 05:00	185	19	24	0	5	233
05:00 - 06:00	367	26	17	1	5	416
06:00 - 07:00	508	49	14	5	11	587
07:00 - 08:00	513	74	28	4	6	625
08:00 - 09:00	675	57	16	0	2	750
09:00 - 10:00	756	37	17	0	5	815
10:00 - 11:00	675	36	20	0	9	740
11:00 - 12:00	505	32	17	0	10	564
12:00 - 13:00	813	35	29	0	19	896
13:00 - 14:00	508	43	13	0	7	571
14:00 - 15:00	462	37	10	1	12	522
15:00 - 16:00	426	43	10	0	9	488
16:00 - 17:00	326	60	9	0	3	398
17:00 - 18:00	323	32	10	0	7	372
18:00 - 19:00	253	24	9	0	9	295
19:00 - 20:00	190	13	6	1	6	216
20:00 - 21:00	163	14	8	1	3	189
21:00 - 22:00	139	7	7	0	4	157
22:00 - 23:00	131	13	2	0	2	148
23:00 - 00:00	122	11	8	0	3	144
Total	8429	723	305	13	146	9616

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 24. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 25. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Lunes 23/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	77	11	16	0	2	106
01:00 - 02:00	36	10	15	0	1	62
02:00 - 03:00	45	7	17	1	5	75
03:00 - 04:00	77	8	31	0	6	122
04:00 - 05:00	147	14	53	1	8	223
05:00 - 06:00	276	13	68	1	24	382
06:00 - 07:00	416	25	73	2	32	548
07:00 - 08:00	439	31	50	0	16	536
08:00 - 09:00	452	43	34	2	7	538
09:00 - 10:00	491	23	29	1	23	567
10:00 - 11:00	518	28	26	2	20	594
11:00 - 12:00	457	25	31	3	25	541
12:00 - 13:00	469	25	29	0	31	554
13:00 - 14:00	414	36	16	7	38	511
14:00 - 15:00	418	22	24	3	39	506
15:00 - 16:00	404	30	28	1	30	493
16:00 - 17:00	356	23	25	1	31	436
17:00 - 18:00	413	26	22	1	33	495
18:00 - 19:00	345	21	12	0	23	401
19:00 - 20:00	343	15	25	1	31	415
20:00 - 21:00	233	16	12	1	30	292
21:00 - 22:00	206	5	12	0	26	249
22:00 - 23:00	137	14	9	0	16	176
23:00 - 00:00	95	14	13	0	8	130
Total	7264	485	670	28	505	8952

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 25. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 26. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Martes 24/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	60	7	14	1	17	99
01:00 - 02:00	46	5	15	0	2	68
02:00 - 03:00	35	8	21	0	5	69
03:00 - 04:00	61	3	28	0	5	97
04:00 - 05:00	101	12	34	1	10	158
05:00 - 06:00	204	11	39	0	18	272
06:00 - 07:00	279	23	34	2	20	358
07:00 - 08:00	296	30	31	2	19	378
08:00 - 09:00	320	20	18	0	9	367
09:00 - 10:00	304	12	13	1	18	348
10:00 - 11:00	401	24	20	0	14	459
11:00 - 12:00	412	21	24	1	24	482
12:00 - 13:00	389	16	14	4	19	442
13:00 - 14:00	382	21	15	2	19	439
14:00 - 15:00	473	27	22	0	26	548
15:00 - 16:00	494	33	11	0	20	558
16:00 - 17:00	424	23	11	0	11	469
17:00 - 18:00	394	26	8	0	15	443
18:00 - 19:00	315	14	10	0	8	347
19:00 - 20:00	241	9	8	1	1	260
20:00 - 21:00	250	12	2	0	4	268
21:00 - 22:00	158	8	5	0	2	173
22:00 - 23:00	136	6	2	0	5	149
23:00 - 00:00	102	7	6	0	5	120
Total	6277	378	405	15	296	7371

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 26. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 27. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Miércoles 25/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	74	2	3	0	0	79
01:00 - 02:00	71	3	2	0	2	78
02:00 - 03:00	100	10	2	0	0	112
03:00 - 04:00	113	14	3	0	0	130
04:00 - 05:00	125	15	2	0	1	143
05:00 - 06:00	284	27	8	1	2	322
06:00 - 07:00	431	40	14	1	3	489
07:00 - 08:00	576	58	13	1	14	662
08:00 - 09:00	703	64	11	0	2	780
09:00 - 10:00	778	40	12	0	5	835
10:00 - 11:00	919	43	13	0	7	982
11:00 - 12:00	981	43	11	1	8	1044
12:00 - 13:00	1039	43	11	0	5	1098
13:00 - 14:00	908	39	12	2	3	964
14:00 - 15:00	936	42	13	0	9	1000
15:00 - 16:00	762	29	16	0	3	810
16:00 - 17:00	592	19	8	0	7	626
17:00 - 18:00	482	19	11	0	6	518
18:00 - 19:00	388	17	6	0	2	413
19:00 - 20:00	275	13	7	0	8	303
20:00 - 21:00	225	9	4	0	6	244
21:00 - 22:00	214	8	8	0	6	236
22:00 - 23:00	122	21	4	0	4	151
23:00 - 00:00	102	16	3	0	4	125
Total	11200	634	197	6	107	12144

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 27. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 28. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Jueves 26/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	67	9	11	0	2	89
01:00 - 02:00	60	2	8	0	2	72
02:00 - 03:00	73	4	17	0	3	97
03:00 - 04:00	174	13	18	0	8	213
04:00 - 05:00	357	19	35	2	13	426
05:00 - 06:00	737	36	46	1	28	848
06:00 - 07:00	864	35	46	2	22	969
07:00 - 08:00	1129	55	43	6	29	1262
08:00 - 09:00	1074	61	41	2	13	1191
09:00 - 10:00	1001	46	32	0	23	1102
10:00 - 11:00	1110	41	28	1	29	1209
11:00 - 12:00	1101	38	28	3	32	1202
12:00 - 13:00	1145	26	22	2	25	1220
13:00 - 14:00	1048	29	33	5	22	1137
14:00 - 15:00	982	26	31	9	34	1082
15:00 - 16:00	906	39	27	2	38	1012
16:00 - 17:00	649	33	36	1	34	753
17:00 - 18:00	530	29	15	0	32	606
18:00 - 19:00	421	26	29	2	40	518
19:00 - 20:00	385	17	21	1	39	463
20:00 - 21:00	259	12	23	0	27	321
21:00 - 22:00	192	6	8	0	15	221
22:00 - 23:00	152	7	13	0	13	185
23:00 - 00:00	96	18	11	0	13	138
Total	14512	627	622	39	536	16336

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 28. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 29. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Viernes 27/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	78	7	15	0	2	102
01:00 - 02:00	51	6	21	0	2	80
02:00 - 03:00	69	2	32	1	7	111
03:00 - 04:00	133	7	36	0	19	195
04:00 - 05:00	274	19	36	0	23	352
05:00 - 06:00	528	29	55	2	20	634
06:00 - 07:00	851	42	38	3	26	960
07:00 - 08:00	997	57	40	5	30	1129
08:00 - 09:00	1059	54	36	2	17	1168
09:00 - 10:00	1063	28	34	1	26	1152
10:00 - 11:00	1105	41	26	1	27	1200
11:00 - 12:00	1175	36	27	0	33	1271
12:00 - 13:00	1132	33	22	1	36	1224
13:00 - 14:00	1046	33	34	1	27	1141
14:00 - 15:00	932	33	29	1	56	1051
15:00 - 16:00	979	34	21	3	40	1077
16:00 - 17:00	799	25	27	1	36	888
17:00 - 18:00	783	27	17	1	26	854
18:00 - 19:00	693	33	17	0	35	778
19:00 - 20:00	599	37	22	0	37	695
20:00 - 21:00	474	17	12	0	26	529
21:00 - 22:00	390	13	21	0	27	451
22:00 - 23:00	199	12	9	1	17	238
23:00 - 00:00	142	16	15	0	13	186
Total	15551	641	642	24	608	17466

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 29. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 30. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Sábado 28/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	97	10	17	0	10	134
01:00 - 02:00	68	9	6	1	5	89
02:00 - 03:00	64	10	14	1	6	95
03:00 - 04:00	147	8	31	0	5	191
04:00 - 05:00	324	28	24	1	13	390
05:00 - 06:00	610	41	51	1	19	722
06:00 - 07:00	950	61	39	0	17	1067
07:00 - 08:00	1043	75	30	3	15	1166
08:00 - 09:00	1038	81	22	0	12	1153
09:00 - 10:00	1185	52	14	3	10	1264
10:00 - 11:00	1194	43	18	2	17	1274
11:00 - 12:00	1284	30	21	0	14	1349
12:00 - 13:00	1122	33	20	1	27	1203
13:00 - 14:00	1021	32	12	1	22	1088
14:00 - 15:00	1027	35	22	1	36	1121
15:00 - 16:00	786	34	12	1	29	862
16:00 - 17:00	721	42	15	0	26	804
17:00 - 18:00	508	18	17	1	19	563
18:00 - 19:00	444	26	18	0	19	507
19:00 - 20:00	345	38	8	0	8	399
20:00 - 21:00	325	21	8	0	8	362
21:00 - 22:00	270	12	8	0	9	299
22:00 - 23:00	250	18	8	0	8	284
23:00 - 00:00	181	12	5	0	3	201
Total	15004	769	440	17	357	16587

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 30. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 31. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Lunes 30/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	64	9	5	0	2	80
01:00 - 02:00	38	5	17	0	2	62
02:00 - 03:00	45	5	14	0	2	66
03:00 - 04:00	95	6	27	2	4	134
04:00 - 05:00	151	13	39	0	11	214
05:00 - 06:00	336	23	41	3	15	418
06:00 - 07:00	609	43	43	0	19	714
07:00 - 08:00	767	64	41	2	20	894
08:00 - 09:00	877	60	33	0	10	980
09:00 - 10:00	874	34	23	1	5	937
10:00 - 11:00	929	37	18	3	15	1002
11:00 - 12:00	857	35	22	0	20	934
12:00 - 13:00	743	26	15	0	19	803
13:00 - 14:00	685	27	31	0	20	763
14:00 - 15:00	674	33	29	4	21	761
15:00 - 16:00	607	27	20	0	36	690
16:00 - 17:00	540	28	11	0	29	608
17:00 - 18:00	550	19	20	0	32	621
18:00 - 19:00	475	15	19	0	19	528
19:00 - 20:00	344	8	15	1	9	377
20:00 - 21:00	284	20	12	0	19	335
21:00 - 22:00	245	10	9	1	11	276
22:00 - 23:00	169	6	10	2	9	196
23:00 - 00:00	109	15	9	0	6	139
Total	11067	568	523	19	355	12532

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 31. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 32. Tráfico horario de diciembre del 2013 sentido San José – Caldera

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido San José - Caldera						
Fecha	Martes 31/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	83	4	13	0	3	103
01:00 - 02:00	59	8	12	0	7	86
02:00 - 03:00	40	1	17	0	5	63
03:00 - 04:00	71	5	22	0	7	105
04:00 - 05:00	138	10	24	0	4	176
05:00 - 06:00	265	14	30	0	13	322
06:00 - 07:00	393	16	27	1	9	446
07:00 - 08:00	89	7	5	0	9	110
08:00 - 09:00	245	24	19	1	0	289
09:00 - 10:00	489	19	15	0	2	525
10:00 - 11:00	506	20	7	0	0	533
11:00 - 12:00	773	28	19	2	48	870
12:00 - 13:00	688	29	16	0	15	748
13:00 - 14:00	655	31	17	1	15	719
14:00 - 15:00	608	30	12	0	15	665
15:00 - 16:00	624	32	8	0	11	675
16:00 - 17:00	667	23	9	0	9	708
17:00 - 18:00	597	22	7	0	4	630
18:00 - 19:00	510	18	10	0	4	542
19:00 - 20:00	388	22	6	0	1	417
20:00 - 21:00	315	15	5	1	1	337
21:00 - 22:00	257	7	3	0	1	268
22:00 - 23:00	165	7	1	0	0	173
23:00 - 00:00	128	8	3	0	0	139
Total	8753	400	307	6	183	9649

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 32. Comportamiento de tráfico por hora sentido San José – Caldera



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 33. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha Sábado 21/Dic/2013						
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	76	11	16	0	15	118
01:00 - 02:00	41	6	2	0	8	57
02:00 - 03:00	33	0	4	0	2	39
03:00 - 04:00	40	4	4	0	12	60
04:00 - 05:00	50	8	12	0	13	83
05:00 - 06:00	108	10	11	1	14	144
06:00 - 07:00	144	12	11	0	17	184
07:00 - 08:00	231	24	15	1	11	282
08:00 - 09:00	315	23	11	2	20	371
09:00 - 10:00	386	32	20	2	28	468
10:00 - 11:00	430	33	27	2	42	534
11:00 - 12:00	498	26	31	1	20	576
12:00 - 13:00	463	18	29	2	34	546
13:00 - 14:00	525	18	28	1	17	589
14:00 - 15:00	623	27	25	1	22	698
15:00 - 16:00	623	34	25	2	21	705
16:00 - 17:00	793	40	28	1	28	890
17:00 - 18:00	600	40	26	1	15	682
18:00 - 19:00	425	27	13	1	7	473
19:00 - 20:00	475	23	20	3	15	536
20:00 - 21:00	522	23	34	1	21	601
21:00 - 22:00	279	18	20	0	11	328
22:00 - 23:00	208	13	11	0	10	242
23:00 - 00:00	134	18	10	0	11	173
Total	8022	488	433	22	414	9379

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 33. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



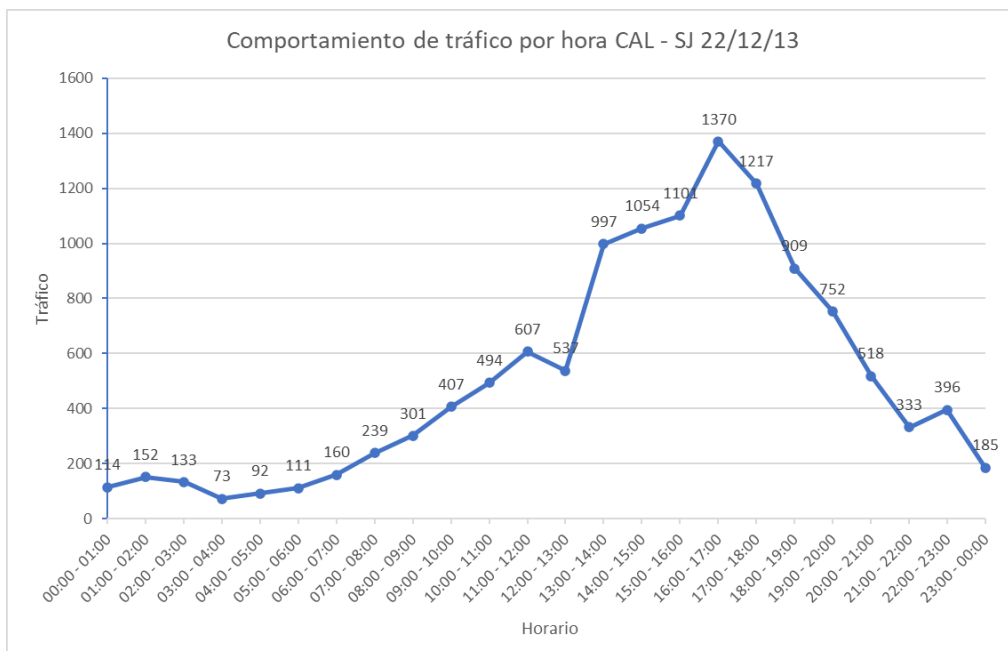
Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 34. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Domingo 22/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	91	9	6	0	8	114
01:00 - 02:00	127	5	7	0	13	152
02:00 - 03:00	106	11	11	0	5	133
03:00 - 04:00	56	4	8	0	5	73
04:00 - 05:00	67	10	4	0	11	92
05:00 - 06:00	66	22	12	0	11	111
06:00 - 07:00	124	16	10	0	10	160
07:00 - 08:00	184	33	3	2	17	239
08:00 - 09:00	264	19	7	0	11	301
09:00 - 10:00	355	34	10	2	6	407
10:00 - 11:00	455	19	9	0	11	494
11:00 - 12:00	549	37	12	2	7	607
12:00 - 13:00	494	20	9	0	14	537
13:00 - 14:00	923	45	14	1	14	997
14:00 - 15:00	989	35	8	3	19	1054
15:00 - 16:00	1027	45	20	0	9	1101
16:00 - 17:00	1271	70	18	1	10	1370
17:00 - 18:00	1134	56	22	1	4	1217
18:00 - 19:00	845	47	13	1	3	909
19:00 - 20:00	678	38	19	1	16	752
20:00 - 21:00	460	28	13	0	17	518
21:00 - 22:00	296	18	7	0	12	333
22:00 - 23:00	367	13	8	1	7	396
23:00 - 00:00	154	8	9	0	14	185
Total	11082	642	259	15	254	12252

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 34. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 35. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Lunes 23/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	77	4	7	0	7	95
01:00 - 02:00	44	8	9	0	3	64
02:00 - 03:00	39	5	6	0	10	60
03:00 - 04:00	36	6	7	0	9	58
04:00 - 05:00	67	6	7	0	6	86
05:00 - 06:00	166	7	10	0	8	191
06:00 - 07:00	205	10	12	0	13	240
07:00 - 08:00	299	17	10	0	8	334
08:00 - 09:00	361	13	8	2	23	407
09:00 - 10:00	416	10	17	0	16	459
10:00 - 11:00	452	19	17	0	25	513
11:00 - 12:00	560	19	20	2	30	631
12:00 - 13:00	501	11	22	2	20	556
13:00 - 14:00	647	21	35	1	40	744
14:00 - 15:00	665	15	24	0	29	733
15:00 - 16:00	690	17	40	3	22	772
16:00 - 17:00	778	21	37	6	23	865
17:00 - 18:00	711	34	51	4	23	823
18:00 - 19:00	610	23	47	2	23	705
19:00 - 20:00	485	23	47	2	14	571
20:00 - 21:00	317	11	21	0	19	368
21:00 - 22:00	223	11	22	0	14	270
22:00 - 23:00	191	17	11	1	20	240
23:00 - 00:00	107	6	11	0	16	140
Total	8647	334	498	25	421	9925

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 35. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 36. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha: Martes 24/Dic/2013						
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	80	4	8	0	14	106
01:00 - 02:00	53	3	5	0	5	66
02:00 - 03:00	28	2	5	0	9	44
03:00 - 04:00	33	3	3	0	11	50
04:00 - 05:00	31	6	5	0	14	56
05:00 - 06:00	78	9	11	0	15	113
06:00 - 07:00	147	9	7	0	6	169
07:00 - 08:00	155	8	10	1	7	181
08:00 - 09:00	227	7	9	0	15	258
09:00 - 10:00	322	12	9	1	16	360
10:00 - 11:00	406	13	23	0	38	480
11:00 - 12:00	453	18	25	2	18	516
12:00 - 13:00	500	14	27	0	17	558
13:00 - 14:00	591	13	32	0	18	654
14:00 - 15:00	580	14	27	3	19	643
15:00 - 16:00	608	16	31	2	25	682
16:00 - 17:00	672	22	31	0	15	740
17:00 - 18:00	522	14	29	1	25	591
18:00 - 19:00	366	15	14	0	13	408
19:00 - 20:00	303	14	17	0	9	343
20:00 - 21:00	196	15	11	1	9	232
21:00 - 22:00	153	10	7	0	7	177
22:00 - 23:00	82	7	0	0	4	93
23:00 - 00:00	84	2	1	0	5	92
Total	6670	250	347	11	334	7612

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 36. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 37. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha Miércoles 25/Dic/2013						
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	60	4	1	0	4	69
01:00 - 02:00	38	1	1	0	3	43
02:00 - 03:00	23	2	0	0	0	25
03:00 - 04:00	22	2	0	0	0	24
04:00 - 05:00	29	3	0	0	2	34
05:00 - 06:00	26	2	0	0	1	29
06:00 - 07:00	75	3	1	0	15	94
07:00 - 08:00	100	4	0	0	8	112
08:00 - 09:00	93	6	0	0	7	106
09:00 - 10:00	189	5	3	0	7	204
10:00 - 11:00	208	15	3	1	4	231
11:00 - 12:00	260	10	5	0	10	285
12:00 - 13:00	314	8	6	0	6	334
13:00 - 14:00	395	16	6	0	11	428
14:00 - 15:00	450	26	7	3	1	487
15:00 - 16:00	677	22	6	0	1	706
16:00 - 17:00	807	51	8	0	6	872
17:00 - 18:00	959	50	9	0	5	1023
18:00 - 19:00	1081	65	11	0	2	1159
19:00 - 20:00	765	50	13	0	8	836
20:00 - 21:00	475	16	9	0	2	502
21:00 - 22:00	288	10	2	0	0	300
22:00 - 23:00	180	6	5	0	5	196
23:00 - 00:00	80	6	4	0	6	96
Total	7594	383	100	4	114	8195

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 37. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 38. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Jueves 26/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	63	2	0	0	0	65
01:00 - 02:00	29	0	1	0	6	36
02:00 - 03:00	19	2	0	0	2	23
03:00 - 04:00	22	2	4	0	8	36
04:00 - 05:00	58	4	7	1	12	82
05:00 - 06:00	148	11	10	0	10	179
06:00 - 07:00	204	5	9	0	4	222
07:00 - 08:00	236	7	17	1	7	268
08:00 - 09:00	262	17	23	1	11	314
09:00 - 10:00	280	20	18	0	24	342
10:00 - 11:00	340	25	25	2	23	415
11:00 - 12:00	368	21	13	3	32	437
12:00 - 13:00	403	16	14	1	22	456
13:00 - 14:00	417	24	19	2	16	478
14:00 - 15:00	527	25	15	1	30	598
15:00 - 16:00	586	32	38	3	31	690
16:00 - 17:00	680	29	29	2	35	775
17:00 - 18:00	754	31	27	1	26	839
18:00 - 19:00	667	30	24	0	27	748
19:00 - 20:00	560	29	29	0	27	645
20:00 - 21:00	369	23	18	1	26	437
21:00 - 22:00	231	14	15	0	27	287
22:00 - 23:00	164	11	14	0	20	209
23:00 - 00:00	108	5	12	0	11	136
Total	7495	385	381	19	437	8717

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 38. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 39. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Viernes 27/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	50	6	10	0	15	81
01:00 - 02:00	37	6	7	0	13	63
02:00 - 03:00	29	0	4	0	6	39
03:00 - 04:00	28	4	6	0	14	52
04:00 - 05:00	59	9	8	1	36	113
05:00 - 06:00	97	5	4	0	23	129
06:00 - 07:00	167	12	6	0	23	208
07:00 - 08:00	240	19	8	0	15	282
08:00 - 09:00	236	10	12	1	39	298
09:00 - 10:00	302	18	16	1	20	357
10:00 - 11:00	343	21	20	4	31	419
11:00 - 12:00	398	27	16	0	38	479
12:00 - 13:00	406	14	27	1	33	481
13:00 - 14:00	557	24	33	1	36	651
14:00 - 15:00	679	19	27	1	39	765
15:00 - 16:00	752	20	42	0	32	846
16:00 - 17:00	898	31	32	1	33	995
17:00 - 18:00	856	32	43	0	33	964
18:00 - 19:00	856	28	23	0	17	924
19:00 - 20:00	655	34	19	0	34	742
20:00 - 21:00	596	35	29	0	28	688
21:00 - 22:00	285	17	21	0	25	348
22:00 - 23:00	207	11	12	1	27	258
23:00 - 00:00	142	5	9	0	11	167
Total	8875	407	434	12	621	10349

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 39. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 40. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Sábado 28/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	71	4	8	0	22	105
01:00 - 02:00	45	5	3	0	19	72
02:00 - 03:00	40	3	5	0	11	59
03:00 - 04:00	34	3	2	1	12	52
04:00 - 05:00	52	6	12	1	32	103
05:00 - 06:00	73	4	4	0	17	98
06:00 - 07:00	118	13	5	0	20	156
07:00 - 08:00	211	19	12	0	19	261
08:00 - 09:00	251	14	8	1	23	297
09:00 - 10:00	349	23	13	1	31	417
10:00 - 11:00	440	27	13	0	27	507
11:00 - 12:00	507	27	13	1	29	577
12:00 - 13:00	557	23	22	1	22	625
13:00 - 14:00	687	25	21	0	18	751
14:00 - 15:00	830	30	27	1	29	917
15:00 - 16:00	1018	38	27	0	28	1111
16:00 - 17:00	1102	41	38	1	23	1205
17:00 - 18:00	1204	59	34	2	22	1321
18:00 - 19:00	1179	61	28	2	14	1284
19:00 - 20:00	998	43	21	1	9	1072
20:00 - 21:00	671	34	16	0	7	728
21:00 - 22:00	375	12	21	0	6	414
22:00 - 23:00	266	10	6	0	10	292
23:00 - 00:00	181	11	12	1	9	214
Total	11259	535	371	14	459	12638

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 40. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 41. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Lunes 30/Dic/2013						
Fecha	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	89	5	4	0	9	107
01:00 - 02:00	47	3	11	0	6	67
02:00 - 03:00	32	1	7	0	4	44
03:00 - 04:00	32	4	7	0	15	58
04:00 - 05:00	80	3	2	0	14	99
05:00 - 06:00	202	4	11	0	15	232
06:00 - 07:00	311	11	10	0	9	341
07:00 - 08:00	195	9	5	0	4	213
08:00 - 09:00	246	7	3	1	4	261
09:00 - 10:00	504	24	11	0	1	540
10:00 - 11:00	671	27	16	1	49	764
11:00 - 12:00	736	30	21	0	27	814
12:00 - 13:00	768	18	23	3	28	840
13:00 - 14:00	850	28	27	0	20	925
14:00 - 15:00	970	20	28	1	14	1033
15:00 - 16:00	1184	33	19	1	30	1267
16:00 - 17:00	1214	47	28	2	26	1317
17:00 - 18:00	1087	49	26	2	22	1186
18:00 - 19:00	1220	58	20	1	22	1321
19:00 - 20:00	1090	47	38	1	12	1188
20:00 - 21:00	743	24	24	0	13	804
21:00 - 22:00	438	12	23	1	15	489
22:00 - 23:00	354	14	15	0	10	393
23:00 - 00:00	180	11	11	0	2	204
Total	13243	489	390	14	371	14507

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 41. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Tabla 42. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José

Tráfico Horario Diciembre 2013						
Sentido Caldera - San José						
Fecha	Martes 31/Dic/2013					
Horario	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Total
00:00 - 01:00	105	5	4	0	1	115
01:00 - 02:00	49	4	4	0	9	66
02:00 - 03:00	37	7	3	1	2	50
03:00 - 04:00	47	4	5	0	7	63
04:00 - 05:00	61	3	8	2	5	79
05:00 - 06:00	107	3	8	2	14	134
06:00 - 07:00	141	7	8	1	3	160
07:00 - 08:00	215	10	8	1	5	239
08:00 - 09:00	247	12	4	0	12	275
09:00 - 10:00	308	13	5	0	12	338
10:00 - 11:00	447	13	18	3	18	499
11:00 - 12:00	540	23	27	0	22	612
12:00 - 13:00	598	17	28	1	23	667
13:00 - 14:00	746	31	10	0	13	800
14:00 - 15:00	759	14	16	1	18	808
15:00 - 16:00	736	19	35	2	15	807
16:00 - 17:00	792	18	20	0	14	844
17:00 - 18:00	643	21	20	1	5	690
18:00 - 19:00	430	15	11	1	9	466
19:00 - 20:00	368	16	11	0	7	402
20:00 - 21:00	232	9	13	0	1	255
21:00 - 22:00	130	7	5	0	3	145
22:00 - 23:00	91	5	3	1	3	103
23:00 - 00:00	64	3	3	0	2	72
Total	7893	279	277	17	223	8689

Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Figura 42. Comportamiento de tráfico por hora sentido Caldera – San José



Fuente: Dirección General de Ingeniería de Tránsito MOPT.

Anexo 2

Señalización recomendada para utilizar en la modalidad de carril reversible de la Ruta Nacional n.º 27 en sentido Caldera – San José.

Figura 43. Señalamiento vial que indica no adelantar



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 44. Señalamiento vial que indica velocidad restringida



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 45. Señalamiento vial temporal que indica que mantenga su carril



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 46. Señalamiento vial temporal que indica desvío adelante



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 47. Señalamiento vial temporal que indica desvío adelante



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 48. Señalamiento vial temporal que indica que termina el desvío



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 49. Señalamiento vial temporal que indica el final del desvío



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Anexo 3

Protocolo para la reversibilidad de carriles de la Ruta Nacional n.º 27 en sentido Caldera – San José.

Protocolo de intervención en el señalamiento vial, para la Ruta Nacional n.º 27 en modalidad de carril reversible

ELABORADO POR KEVIN GARCÍA MARTÍNEZ
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

ENERO 2024

Protocolo de intervención en el señalamiento vial, para la Ruta Nacional n.º 27 en modalidad de carril reversible

Este protocolo va dirigido para la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), para ser aplicado por los oficiales de la Policía de Tránsito cuando se ponga en marcha la modalidad de carril reversible en la Ruta Nacional n.º 27 en sentido Caldera – San José.

Objetivo

Intervenir la Ruta Nacional n.º 27 en términos de señalamiento vial y dispositivos de control de tránsito, para preservar la fluidez del tránsito y la seguridad vial con respecto a los estándares establecidos en el país.

Definiciones

Carril reversible: según el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015), el carril reversible consiste en invertir el sentido de circulación de uno o varios carriles durante ciertas horas, normalmente, en los periodos punta, para lograr un aumento temporal en la capacidad de la vía en la dirección pico.

Señalamiento vertical: en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015), se mencionan estos son dispositivos de control de tránsito, constituidos por placas fijadas en postes, en estructuras instaladas sobre la vía o adyacente a esta, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones.

Señales de reglamentación: son las que indican la prioridad de paso, restricciones, prohibiciones o limitaciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país, indica el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Señales de información: estas señales brindan información relevante a los usuarios acerca de rutas, destinos, velocidades, distancias, kilometraje, entre otros, para facilitar la orientación de los conductores y peatones.

Señales de prevención: indican a los usuarios las condiciones prevalecientes en la vía y su entorno, utilizadas para alertar de potenciales peligros y su naturaleza, según lo indica el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Seguridad vial: según la OPS, se refiere a las medidas adoptadas para reducir el riesgo de lesiones y muertes causadas por el tránsito.

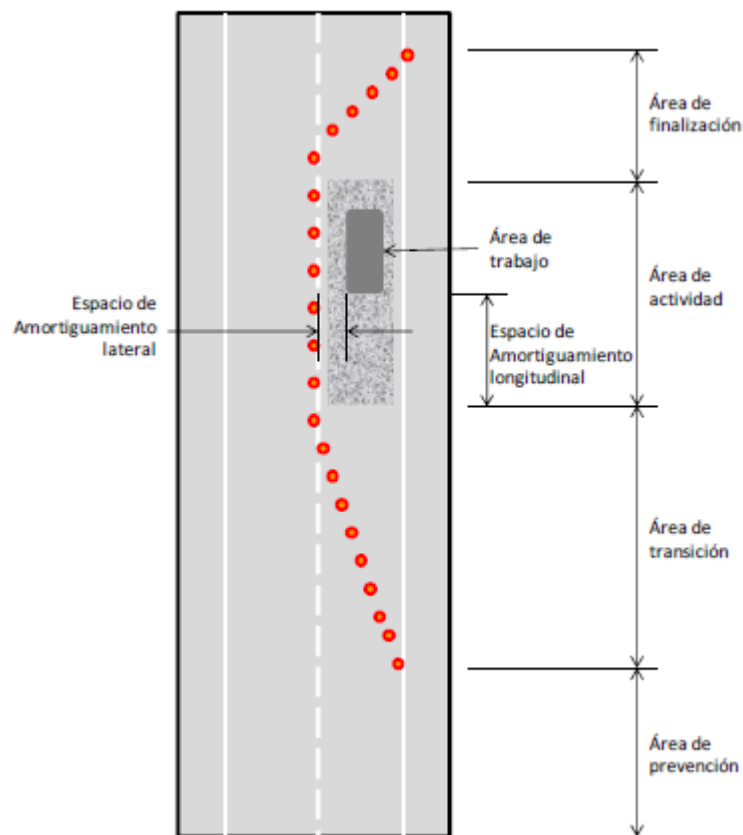
Dispositivos de control de tránsito: son todos los elementos diseñados para informar, advertir y proteger a los usuarios y peatones en la carretera.

Área de prevención: es una zona de la vía donde los usuarios son informados de lo que les espera a continuación. Puede estar conformada por una única señal o luz intermitente o también por una serie de señales debidamente espaciadas para que el usuario pueda percibir las y reaccionar ante la condición que representan estas señales

Área de transición: es la zona donde se redirecciona la trayectoria normal de los vehículos, siendo canalizada hacia la dirección requerida, realizando una disminución gradual de carriles o redirección de la trayectoria vehicular utilizando dispositivos de canalización o "tapers", debidamente espaciados, dependiendo del tipo de dispositivo que se utilice.

Área de finalización: se utiliza para devolver el flujo de tránsito a su trayectoria normal utilizando dispositivos de canalización de tránsito o "tapers", debidamente espaciados dependiendo del tipo de dispositivo que se utilice.

Figura 1. Clasificación de áreas o zonas en una transición de flujo vehicular temporal



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Señales por utilizar

Primeramente, se debe utilizar señalamiento de reglamentación en la zona previa a la transición, para generar un control de tránsito en el tramo a intervenir, como por ejemplo:

Figura 2. Señalamiento vial que indica no adelantar



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

- Para generar control vehicular y que no haya cambios abruptos en el carril.

Figura 3. Señalamiento vial que indica velocidad restringida



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

- Restringir la velocidad máxima para que no haya aumentos excesivos de velocidad al realizar maniobras de alto cuidado

En cuanto al señalamiento de prevención, se deben utilizar las siguientes señalizaciones, implementando el espaciamento entre señales sugerido a continuación, en caso de ser necesario (ver Cuadro 1):

Cuadro 1. *Espaciamiento sugerido entre señales de prevención*

Espaciamiento sugerido entre Señales de Prevención			
Tipo de Carretera	Distancia o Espaciamiento entre señales (m)		
	Señales en Zona de Transición	Señales antes de zona de Transición	Primeras Señales del Área de Control
Urbana baja velocidad, menor 40 km/h	60	60	60
Urbana alta velocidad, entre 40 y 60 km/h	100	100	100
Carretera rural, entre 60 y 80 km/h	150	150	150
Autopista, mayor de 80 km/h	300	500	800

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

En el caso de la Ruta Nacional N°27, se toman como referencia los datos que se encuentran en el rango de velocidad de 60 km/h a 80 km/h, para determinar la separación sugerida entre las señales de prevención. A continuación, se muestra el señalamiento que se debe de utilizar en las diferentes zonas.

Zona previa a la transición (Área de prevención):

Figura 4. *Señalamiento vial temporal que indica desvío adelante*



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 5. *Señalamiento vial temporal que indica vía izquierda cerrada*



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 6. Señalamiento vial temporal que indica que mantenga su carril



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Este señalamiento se debe usar en el orden que aparece, estando la primera señal a 450 metros de la zona de transición.

Zona de transición (Área de transición):

Figura 7. Señalamiento vial temporal que indica desvío de ambos carriles hacia la derecha



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 8. Señalamiento vial temporal que indica desvío adelante



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 9. Señalamiento vial temporal que indica desvío adelante



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

El señalamiento mostrado anteriormente se debe utilizar en la zona de transición, donde indique el desvío del carril izquierdo hacia la vía a mano derecha en los intercambios.

Zona de finalización (Área de finalización):

Figura 10. Señalamiento vial temporal que indica que termina el desvío



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 11. Señalamiento vial temporal que indica el final del desvío



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

El señalamiento anterior se debe utilizar en la parte final del desvío, donde los vehículos vuelven al flujo anterior al intercambio.

Dispositivos de canalización de tránsito o “Tapers”

Se utilizan en la zona de transición para canalizar el flujo de tránsito vehicular en la nueva trayectoria, como se mencionó anteriormente en el apartado de definiciones.

Existen diferentes dispositivos, sin embargo, acá, se van a mencionar al menos 3 tipos.

Conos

Están hechos de cloruro de polivinilo (PVC), color naranja fluorescente, con forma de cono truncado con una altura de entre 0.65 m y 0.75 m y una base cuadrada de entre 0.35 m y 0.45 m por lado; además, debe tener dos anillos de material reflectivo color plata, uno de 0.15 m y otro de 0.1 m de ancho, con un espaciado entre anillos de 0.15 m, según indica el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Figura 12. Dispositivo de canalización de tránsito tipo cono



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Para la separación recomendada de los conos con respecto a la velocidad, se utiliza el siguiente cuadro (Cuadro 2):

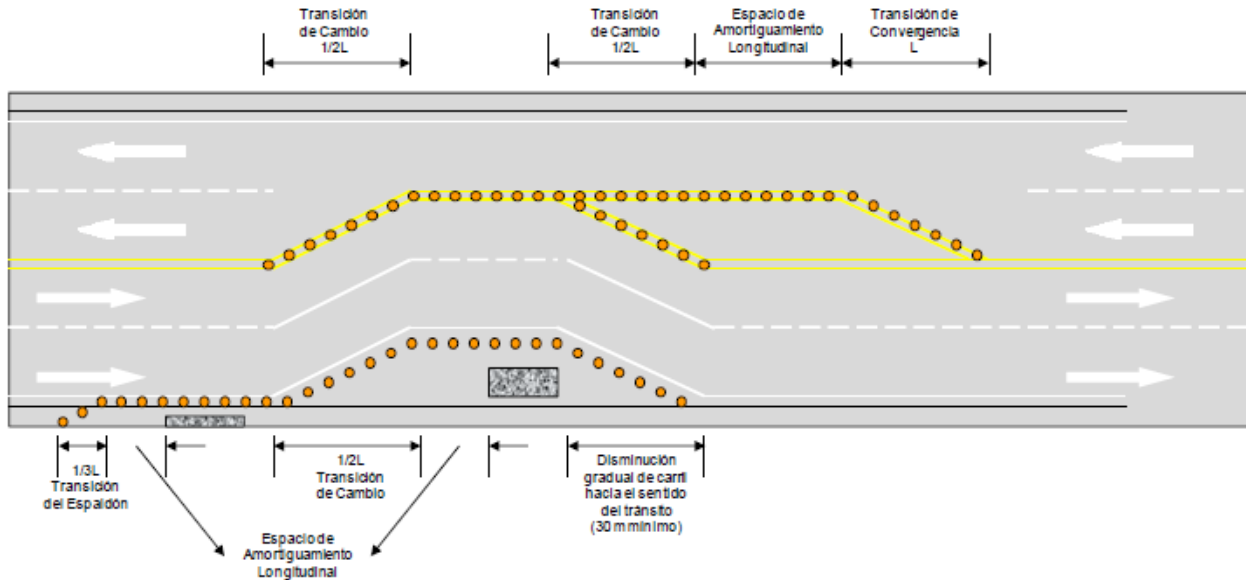
Cuadro 2. Separación máxima sugerida para conos

Velocidad (km/h)	Separación máxima (m)
40	8
60	12
80	16
100	20

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Posteriormente, para el cálculo de las reducciones graduales de carril, se hace referencia a la siguiente figura (Figura 13):

Figura 13. Esquema de zonas de canalización vehicular



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Para realizar el cálculo de la longitud de “Tapers” referentes a cada zona del área de control de tránsito, se utilizan los siguientes cuadros (cuadros 3 y 4):

Cuadro 3. Longitud de “Tapers” sugerida para las diferentes zonas

Tipo de “Tapers”	Longitud de “Tapers”
Transición de convergencia	L mínimo
Transición de cambio	L mínimo
Transición de espaldón	1/3 de L mínimo
Transición para vías de dos carriles con doble sentido	30 m máximo
Aguas abajo (opcional)	30 m mínimo

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Cuadro 4. Cálculo de la longitud de “Tapers”

Fórmula para el cálculo de L*	
Velocidad	Fórmula
65 km/h o menos	$L = (W * S^2) / 154$
70 km/h o mayor	$L = (W * S) / 1.6$
L* = Longitud del “tapers” en metros	
W = Ancho del desplazamiento en metros	
S = Velocidad límite o del percentil 85 antes de que comiencen los trabajos	

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

En el caso de la Ruta Nacional N°27, el valor promedio de W es igual al valor del ancho de carril en que se deben redireccionar los vehículos, siendo -en su mayoría- de 3.65 m y la velocidad límite es de 60 km/h; por lo tanto, al resolver la ecuación, el valor de L es igual a 120 m y esa es la longitud mínima que deben de tener los “tapers”.

Barriles

El Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015) indica que los barriles deben ser de PVC o un material con características similares. Las dimensiones mínimas serán de 1.00 m de alto, color naranja con dos franjas horizontales, plateadas reflectivas de 0.10 m de alto, abarcando toda la circunferencia del barril. La separación máxima entre barriles es de 5.00 m, cuando se utilicen estos dispositivos para canalizar el tránsito y serán obligatorios en zonas pavimentadas.

Figura 14. Dispositivo de canalización de tránsito tipo barril



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Cilindros de tránsito

Los cilindros de tránsito serán -al igual que los demás dispositivos de canalización vehicular- de material PVC, color naranja, con dos franjas reflectivas con una ancho de 0.8 m, y el cilindro debe tener dimensiones mínimas de 1.00 m de alto con un diámetro de 0.10 m, con una base octogonal de hule (preferiblemente reciclado), con medidas de 0.40 m de lado, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. *Dispositivo de canalización de tránsito tipo cilindro de tránsito*



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Estos dispositivos tendrán una separación máxima de 5.00 m entre cada uno de los cilindros y no se podrán usar menos de tres unidades en zonas de amortiguamiento o trabajo. Deben utilizarse tanto para definir la transición como para demarcar el borde de la calzada.

Pasos para intervenir los intercambios de la Ruta Nacional n.º27.

Paso 1:

Se debe identificar claramente la intersección o intercambio que se va a intervenir.

Figura 16. Imagen satelital de intercambio de la Ruta Nacional n.º27



Fuente: Google Earth (2023).

Paso 2:

Se seleccionan las señales de información, reglamentación y prevención que se van a utilizar en las diferentes zonas que comprenden el intercambio (figura 1). Dicha señalización se encuentra indicada anteriormente y en el siguiente resumen de figuras (figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11).

Figura 17. Resumen de figuras de señalización



Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015).

Paso 3:

Se deben medir al menos 450 metros de distancia antes del intercambio a intervenir para colocar la primera señal de reglamentación que se seleccione, esto para alertar a los usuarios sobre la aproximación al intercambio.

Figura 18. Imagen satelital de intercambio de la Ruta Nacional n°.27 midiendo 450 metros mínimos que se deben cumplir según el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015)



Fuente: Google Earth (2023).

Paso 4:

Se colocan las señales indicadas con un distanciamiento de 150 metros entre señalizaciones en la zona de prevención. Para la zona de transición se debe colocar la primera señalización mínimo a 150 metros del inicio del intercambio y se coloca esta señalización en paralelo a los “tappers”.

Figura 19. Imagen satelital de intercambio de la Ruta Nacional n.º.27 midiendo 450 metros mínimos que se deben cumplir según el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2015) con separación de 150 metros entre señales y señalamiento vial escogido



Fuente: Google Earth (2023) y edición propia.

Paso 5:

Se eligen los dispositivos de canalización vehicular por utilizar (figuras 12, 14 y 15), es necesario utilizar barriles en carreteras de asfalto. Además se procede a calcular la longitud mínima que deben tener los “Tappers” (cuadros 3 y 4), en el caso específico de la Ruta Nacional n.º.27 deben tener una longitud mínima de 120 metros, donde se cierra la vía izquierda y se canaliza todo el flujo vehicular en la vía derecha de los intercambios. Además, se procede a calcular la separación que debe haber entre “tappers” en la zona de transición, si se van a utilizar conos ver cuadro 2 para verificar espaciamiento entre conos.

Figura 20. Imagen satelital de intercambio de la Ruta Nacional n.º.27, colocando “tappers” con una longitud mínima de 120 metros



Fuente: Google Earth (2023) y edición propia.

Paso 6:

Como último paso se debe volver a canalizar el tránsito vehicular a su trayectoria original al finalizar la sección del intercambio.

Figura 21. Imagen satelital de intercambio de la Ruta Nacional n°.27, redireccionando el flujo vehicular para su trayectoria normal con señalización en la zona de transición



Fuente: Google Earth (2023) y edición propia.

Referencias

Google Earth. (2023). *Imagen satelital sobre la Ruta Nacional N° 27.*

Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Seguridad vial. <https://cutt.ly/mwVucuQu>

SIECA. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito.*

<https://cutt.ly/QwVucVUN>