



Análisis funcional sobre tramos de la Ruta Nacional N° 21

DIRECCIÓN GENERAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO
DEPARTAMENTO DE REGIONALES

Ficha técnica del documento		
1. N° Informe MOPT-03-05-01-0760-2022	2. N° de Expediente RE-LI-EB-22-0302	
3. Título Análisis funcional sobre tramos de la Ruta Nacional N° 21.	4. Fecha del informe 21 de noviembre de 2022	
5. Institución ejecutora Ministerio de Obras Públicas y Transportes Dirección General de Ingeniería de Tránsito San José, Costa Rica Tel: (506) 2226-5411	6. Institución receptora Secretaría de Planificación Sectorial MOPT	
7. Tipo de reporte y periodo de extensión Informe final, noviembre de 2022	8. Colaboró Ing. Kevin Gerardo Martínez Navarrete Ing. De Proyectos Oficina Regional Liberia	
9. Elaboró Ing. José Miguel Calvo Espinoza Encargado Oficina Regional Liberia Nombre y firma	10. Autorizó Ing. Alejandra Acosta Gómez Jefe Departamento de Regionales Nombre y firma	
11. Resumen En atención a solicitud de estudio de análisis funcional sobre tres tramos de la Ruta Nacional N° 21, en los cantones de Liberia y Santa Cruz de Guanacaste, efectuada por el Ing. Álvaro Bermúdez Peñas, Director a.i. del Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT, vía correo electrónico con fecha 28 de junio del 2022; por lo cual se realizó visita a la zona para llevar a cabo el trabajo de campo requerido y se analizó según los criterios técnicos vigentes en la materia, donde se determinó que los niveles de servicio actuales no son aceptables, por lo que se realizó un análisis de capacidad para mejorar la funcionabilidad de la misma a través de la ampliación de carriles.		
12. Palabras clave Funcionabilidad, congestionamiento, vehiculos, livianos, pesados, velocidad, Ruta Nacional N° 21, Liberia, Guardia, Santa Cruz.	13. Nivel de seguridad Público	14. N° páginas 45

1. Introducción

1.1 Origen del Estudio

La solicitud, con fecha del 28 de junio del presente año, realizada por el Ing. Álvaro Bermúdez Peñas, Director a.i. del Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), con el fin de que la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT), realizara un estudio técnico para evaluar el funcionamiento actual de tres tramos de la Ruta Nacional N° 21 correspondientes a :Liberia – Aeropuerto Daniel Oduber Quirós , sección de control 50081; Aeropuerto Daniel Oduber Quirós – Guardia, sección de control 50082; y Río Cañas Nuevo – Intersección de la Ruta Nacional N° 931, entrada de Santa Bárbara de Santa Cruz, Guanacaste.

1.2 Objetivo general

Realizar el análisis funcional de los tramos contenidos entre la intersección de Ruta N° 1 y N° 21, y la entrada a Santa Bárbara de Santa Cruz, sobre la Ruta Nacional N° 21, para determinar el nivel de servicio que brinda esta carretera al flujo vehicular presente, con en el fin de establecer la cantidad de carriles requeridos de conformidad con la demanda de tránsito existente.

1.3 Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento geométrico en sitio de la zona de estudio con el fin de determinar cantidad de carriles y su ancho, cantidad de accesos secundarios, tipo de vía, ancho de espaldón, longitud de zonas de adelantamiento, entre otras, requeridas para aplicar la metodología del estudio.
2. Analizar la información recopilada en campo y suministrada por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT sobre los datos de tránsito promedio diario (TPD), factores horarios y porcentajes de crecimiento estimados para la zona.
3. Identificar el nivel de servicio actual para determinar si el funcionamiento de la vía es el óptimo.
4. Determinar la cantidad de carriles requeridos para proveer de un nivel de servicio aceptable para el tránsito vehicula de la zona.

5. En caso de identificar incumplimiento en el nivel de servicio de la ruta, definir el periodo de tiempo en el que el proyecto será funcional y establecer a partir de cual año se requieren intervenciones y de qué tipo, por lo cual, los valores de volumen horario serán proyectados utilizando una formula lineal y los datos de tránsito promedio diario (TPD) provistos por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT del 2020.
6. Llevar a cabo un informe donde se plasmen los resultados y recomendaciones con sus debidas competencias.

1.4 Alcances

El presente estudio busca implementar criterios de capacidad en la ampliación de una ruta nacional que presenta una cantidad considerable de vehículos y que, además, es una zona turística de alta visitación, por lo que existen épocas del año en donde su afluencia es aún mayor, esto con el fin de evitar deficiencias funcionales, definiendo el periodo de tiempo en el que el proyecto será funcional, por lo cual, los valores de volumen horario serán proyectados utilizando una formula lineal y los datos de TPD provistos por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT del 2020.

El presente estudio se limitará a realizar una evaluación técnica para determinar la cantidad de carriles requeridos en la Ruta Nacional N° 21 tramos: Liberia – Aeropuerto Daniel Oduber Quirós, sección de control 50081; Aeropuerto Daniel Oduber Quirós – Guardia, sección de control 50082; y Río Cañas Nuevo – Intersección de la Ruta Nacional N° 931, entrada de Santa Bárbara de Santa Cruz, Guanacaste. Cabe destacar que para el presente análisis se utilizará la información suministrada por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT (estimación vehicular).

El inicio y fin de cada una de las secciones o tramos que conforman el presente estudio, fueron establecidas en la información suministrada por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT, pero además la DGIT estableció secciones o tramos “homogéneos” a partir de la información de TPD y de diseño geométrico, de manera que estos tramos, presenten las condiciones más similares y de esta forma, lograr obtener resultados más fidedignos.

Las tasas de crecimiento vehicular, la composición vehicular, el TPD y los factores horarios se obtuvieron de Anuario de Tránsito del MOPT, año 2020.

Este estudio se proyectó a 20 años debido a que según el “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, 3° Edición, SIECA 2011” (en adelante denominado “el manual de normas”) indica lo siguiente:

“Se recomienda adoptar un período de proyección de veinte años como base para el diseño. Usualmente, la estimación del tránsito más allá de este período sobre una vía específica no se justifica debido a que no pueden preverse con ningún grado de precisión los cambios en la economía regional, población y desarrollo de la tierra a lo largo de la carretera.”

1.5 Limitaciones

No se presentaron limitaciones en el desarrollo del estudio.

1.6 Metodología

El presente capítulo incluye una descripción de la metodología utilizada para determinar los niveles de servicio para cada uno de los escenarios analizados, con base en una serie de procedimientos o etapas establecidas se utiliza como guía metodológica el Manual de Capacidad de Carreteras, quinta edición (HCM por sus siglas en inglés, Versión 2010, Volumen 2).

1.6.1 Definición de nivel de servicio

El principal parámetro que se utilizará para determinar la cantidad de carriles requeridos será el “nivel de servicio”, por lo que en el presente apartado se realizará una breve descripción de esta medida de efectividad, previo a detallar la metodología para calcularlo.

El nivel de servicio es una clasificación cualitativa del valor numérico de la relación volumen/capacidad (V/C) y la densidad vehicular.

El flujo vehicular de servicio para diseño es el máximo volumen horario de tránsito que una carretera puede acomodar, sin que el grado de congestionamiento alcance los niveles preseleccionados por

el diseñador, tras conciliar los intereses de los conductores, dispuestos quizá a tolerar un mínimo de congestión; los estándares de diseño vigentes, que predeterminarán algunos requerimientos básicos según la clasificación funcional de la vía; y los recursos disponibles para atender estas necesidades.

Conviene aclarar que hablar de congestión en una carretera no es hablar de paralización de todo el movimiento. El congestión se inicia con la creciente interferencia o fricción entre los vehículos en la corriente del tránsito, que empieza a perder su calidad de flujo libre.

Este parámetro está íntimamente relacionado con la composición y la cantidad de vehículos que circulan por la carretera, además con las características geométricas de la vía como, por ejemplo: pendientes, anchos de carril y espaldones.

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales Segunda Edición, SIECA 2011 (en adelante denominado manual de normas) establece seis niveles de servicio, identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, mientras que al nivel de servicio F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía.

Los diseñadores deben escoger, entre aquellos extremos, el nivel de servicio que mejor se adecua a la realidad del proyecto que se está analizando, ya sea para construcción o ampliación. La escogencia de un determinado nivel de servicio conduce a la adopción de un flujo vehicular de servicio para diseño, que al ser excedido indica que las condiciones operativas se han desmejorado con respecto a dicho nivel. La escogencia de un nivel de servicio dado, está referido a las condiciones de la vía.

La Tabla 1 muestra la guía contenida en el “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, 3° Edición, SIECA 2011”, para seleccionar el nivel de servicio de una carretera, en función de su tipología y las características del terreno:

Tabla 1. Nivel de servicio según el tipo de carretera

Tipo carretera	Tipo de área y nivel de servicio apropiado			
	Rural plano	Rural ondulado	Rural montañoso	Urbano suburbano
Autopista especial	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Fuente: SIECA, 2011

Para el caso particular de esta zona, se puede categorizar esta ruta como troncal rural plano el nivel de servicio aceptable es **B**, como se muestra en la tabla anterior.

Dentro de las variables que se necesitan para desarrollar el presente estudio, se encuentran:

- FP (fp), que corresponde a un parámetro que refleja qué tanto están familiarizados los conductores con la vía y el entorno. Para este caso se va a considerar un valor 0.8 debido a que un alto porcentaje de usuarios corresponde a turistas que no están familiarizados con las condiciones de la ruta y, además, cerca de la vía se encuentra el Aeropuerto Internacional Guanacaste.

Porcentaje de zonas de no adelantamiento: El cual se aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Zonas NO adelantamiento} = \frac{\text{Longitud de zona de no adelantamiento}}{\text{Longitud total del tramo}} \quad [1]$$

- El factor de hora pico o FHP: Para la estación 509 correspondiente al tramo Liberia - Aeropuerto, el factor de hora pico se obtuvo de los conteos y análisis que se realizaron por parte de la oficina de Liberia de la DGIT en un estudio de semáforo peatonal que se realizó el presente año frente a la Universidad de Costa Rica que se ubica sobre la Ruta Nacional N°21, en la misma sección de control que se realiza el estudio, y el valor es de 0.86. Para las

estaciones 549 y 790 se utilizó el factor de hora pico de los datos suministrado por el Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT.

- Para realizar las proyecciones de tránsito se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_f = V_i (1 + i)^n \quad [2]$$

Donde:

V_f = volumen proyectado

V_i = volumen actual

i = porcentaje de crecimiento vehicular

n = número de años de la proyección

1.6.2 Método de cálculo del nivel de servicio para carreteras con un carril de movimiento por sentido

Para el análisis de estos casos, se tomó como base lo indicado en el capítulo 15 del HCM 2010, para la metodología del análisis para evaluar los niveles de servicios de una vía de dos carriles, con un carril por sentido.

Posteriormente se procede a clasificar cada tramo según las características de la vía, para luego determinar cuál es el tipo de carretera dentro de los tres tipos que existen, a saber: Clase I, Clase II, Clase III. Para estos casos en particular se determina que, según las características de la vía y en el entorno, la carretera es tipo III.

Carretera clase III: son carreteras que dan servicio a áreas moderadamente desarrolladas. áreas Pueden ser porciones de una carretera Clase I o Clase II que pasan a través de pequeños pueblos o áreas recreativas desarrolladas. En tales segmentos, el tráfico local a menudo se mezcla con el tráfico directo, y la densidad de puntos de acceso al borde de la carretera no señalizados es notablemente más alto que en una puramente área rural. Las carreteras de clase III también pueden ser segmentos más largos que pasan a través de áreas recreativas más dispersas, también con mayor densidades Dichos segmentos a menudo van acompañados de límites de velocidad reducidos. que reflejan el mayor nivel de actividad.

A continuación, se indican los pasos básicos a seguir de la metodología para el análisis de vías de dos carriles (un carril por sentido) para carretera tipo III, para determinar el nivel de servicio.

➤ **Paso 1:** Consiste en detallar los datos requeridos de la vía para llevar a cabo el estudio (características) necesarias para determinar el nivel de servicio en carreteras, las cuales son:

- a. Longitud del tramo en estudio (en millas).
- b. Volumen de tránsito en la hora pico (V, en vehículos por hora).
- c. Factor de hora pico (FHP).
- d. Composición del tránsito (porcentaje de vehículos livianos, autobuses, camiones y vehículos recreativos).
- e. Distribución direccional del tránsito.
- f. Tipo de terreno, conocido por observación o resultados del estudio preliminar. Las características de la sección longitudinal de una carretera pueden establecerse a través del porcentaje de dicha carretera con visibilidades menores de 450 metros.
- g. Ancho de carriles y espaldones (pies). Dimensiones de alternativas del estudio.
- h. Velocidad estimada de flujo libre ideal en millas por hora.
- i. Cantidad de accesos secundarios por milla.
- j. Porcentaje de zonas de no adelantamiento presentes.

➤ **Paso 2:** corresponde a la estimación de Velocidad de Flujo Libre (FFS), para lo cual el cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad [3]$$

Donde:

FFS : Velocidad estimada de flujo libre(millas/h).

$BFFS$: Velocidad base de flujo libre (millas/h).

f_{LS} : Ajuste por espacio lateral.

f_A : Ajuste por puntos de acceso.

El f_{LS} , se obtiene dependiendo el ancho de carril y el ancho de espaldón en pies, según la siguiente tabla.

Tabla 2. Factor de ajuste para carril y ancho de espaldón

Ancho de carril (pies)	Ancho de espaldón (pies)			
	$\geq 0 < 2$	$\geq 2 < 4$	$\geq 4 < 6$	≥ 6
$\geq 9 < 10$	6.4	4.8	3.5	2.2
$\geq 10 < 11$	5.3	3.7	2.4	1.1
$\geq 11 < 12$	4.7	3.0	1.7	0.4
≥ 12	4.2	2.3	1.3	0.0

Fuente: Highway Capacity Manual 5th Edition, HCM 2010) Vol 2.

El f_A , se obtiene dependiendo de la cantidad de accesos secundarios a la vía en estudio, según la tabla siguiente, si la cantidad de accesos no se encuentran en la tabla, lo que procede es a realizar una interpolación, para obtener el valor.

Tabla 3. Factor de ajuste para densidad de puntos de acceso.

Puntos de acceso por milla (ambas direcciones)	Reducción en FFS (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
40	10.0
Nota: Se recomienda la interpolación al 0.1 más cercano.	

Fuente: Highway Capacity Manual 5th Edition, HCM 2010) Vol 2.

Una vez que se determinan las variables que se requieren se procede a realizar el cálculo del **FFS**, con base a la formula N°1.

- **Paso número 3:** se refiere a la corrección de volumen para la velocidad promedio de viaje (ATS).

Consiste en corregir el volumen de vehículos en un volumen representativo, el cálculo para ATS debe de realizarse para cada dirección, la de mayor demanda y el flujo contrario; el volumen de vehículos es corregido por el factor de hora pico, por el factor según el tipo de terreno y por el factor de vehículos pesado; mediante la siguiente formula:

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \quad [4]$$

Donde:

$v_{i,ATS}$: tasa de flujo de demanda para la estimación de ATS (pc/h)

V_i : volumen de demanda para la dirección i(veh/h)

PHF ó FHP: factor de hora pico

$f_{g,ATS}$: factor de ajuste según tipo de terreno

$f_{HV,ATS}$: factor de ajuste de vehículos pesados

El V_i , se calcula multiplicando el volumen de tránsito en la hora pico por el porcentaje distribución direccional del tránsito.

El factor de ajuste según tipo de terreno $f_{g,ATS}$: se calcula en la siguiente tabla, en dicha tabla se indican dos tipos de terreno, plano y ondulado; el flujo de vehículos debe de ser corregido por el FHP, para ingresar los valores en la tabla; de ser necesario si el terreno fuese ondulado para obtener el valor $f_{g,ATS}$, se debe de realizar una interpolación.

Tabla 4. Factor de ajuste para terreno nivelado u ondulado y degradaciones específicas

Demanda de flujo en una sola dirección (veh/h)	Factor de ajuste	
	Terreno plano y Rebajas específicas	Terreno ondulado
≤100	1.0	0.67
200	1.0	0.75

Demanda de flujo en una sola dirección (veh/h)	Factor de ajuste	
	Terreno plano y Rebajas específicas	Terreno ondulado
300	1.0	0.83
400	1.0	0.90
500	1.0	0.95
600	1.0	0.97
700	1.0	0.98
800	1.0	0.99
≥900	1.0	1.00
Nota: Se recomienda la interpolación al 0.1 más cercano.		

Fuente: Highway Capacity Manual 5th Edition, HCM 2010) Vol 2.

Factor de vehículos pesados $f_{HV,ATS}$: Es un factor que depende exclusivamente de la cantidad y proporciones de los vehículos pesados respecto al total. Este factor afecta al flujo de tránsito ideal; pues entre más vehículos pesados circulen por una determinada vía, menor es la cantidad total de vehículos livianos que pueden circular. Para obtener el factor de ajuste de vehículos pesados $f_{HV,ATS}$, es necesario realizar el cálculo de la siguiente formula.

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad [5]$$

Donde:

$f_{HV,ATS}$: Factor por vehículos pesados

P_T : Porcentaje de pesados y buses

E_T : Factor de Vehículo liviano equivalente a un camión o bus

P_R : Porcentaje de vehículos recreacionales

E_R : Factor de vehículo liviano equivalente a un vehículo recreacional

Los valores de E_T y E_R , se obtienen de la tabla N°5, según el tipo de terreno y el volumen de demanda, se debe determinar para ambos sentidos de circulación, si el valor del flujo no coincide con algunos de los valores indicados en la tabla, se debe de interpolar para obtener el resultado.

Tabla 5. Factor de equivalencia (E_T y E_R)

Tipo de vehículo	Volumen de demanda del flujo vehicular, (veh/h)	Terreno Plano y Rebajas específicas	Terreno ondulado
Camiones, ET	≤100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥900	1.0	1.3
RVS, ER	Todos los flujos	1.0	1.1
Nota: Se recomienda la interpolación al 0.1 más cercano.			

Fuente: Highway Capacity Manual 5th Edition, HCM 2010) Vol 2.

Una vez que se obtienen todas las variables se procede a calcular el factor de ajuste de vehículos pesados $f_{HV,ATS}$ mediante la formula N° 5.

Posteriormente para finalizar el punto 3, se calcula el V_i , ATS, tasa de flujo de demanda para la estimación de ATS (pc/h), con la formula N° 4.

➤ **Paso 4:** para cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS).

Mediante la siguiente formula, se obtiene el valor de la Velocidad de viaje promedio (ATS_d).

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS} \quad [6]$$

Donde:

ATS_d : Velocidad de viaje promedio en la dirección de análisis (millas/h);

FFS : Velocidad de flujo libre (millas/h).

$V_{d,ATS}$: Tasa de flujo de demanda para la determinación de ATS en la dirección de análisis (pc/hora).

$V_{o,ATS}$: Tasa de flujo de demanda para la determinación de ATS en la dirección opuesta (pc/hora).

$f_{np,ATS}$: Equivalente de corrección para zonas de no adelantamiento en la dirección de análisis.

Como ya se tiene los valores, FFS, $V_{d,ATS}$, V_o , ATS; de análisis anteriores, en este punto solo falta calcular la variable $f_{np,ATS}$, dicho resultado se obtiene interpolando en la tabla siguiente, ingresando los valores de la tasa de flujo opuesto y el porcentaje de zonas de no adelantamiento.

Tabla 6. Factor de ajuste ATS para zonas de no rebasar ($f_{np,ATS}$)

Flujo opuesto, (V/h)	Porcentaje de zonas de no adelantamiento				
	≤200	40	60	80	100
FFS ≥ 65 millas / h					
≤100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1.000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1.200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1.400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥1,600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
FFS= 60 millas / h					
≤100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1.000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1.200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1.400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FFS= 55 millas / h					
≤100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1.000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1.200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1.400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
FFS = 50 millas/h					
≤100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0

Flujo opuesto, (V/h)	Porcentaje de zonas de no adelantamiento				
	≤200	40	60	80	100
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1.000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1.200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1.400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1,600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FFS ≤ 45 millas/h					
≤100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1.000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1.200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1.400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥1,600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Nota: La interpolación de fnp,ATS para el porcentaje de zonas de no rebasar, tasa de flujo de demanda y FFS al 0.1 más cercano es recomendado.

Fuente: Highway Capacity Manual 5th Edition, HCM 2010) Vol 2.

Determinadas todas las variables, se procede a calcular el ATS_d : Velocidad de viaje promedio en la dirección de análisis, mediante la aplicación de la formula N°4.

Los pasos 5 y 6 no se desarrollan debido a que no aplican para este tipo de carretera.

➤ **Paso 7.** Para obtener el porcentaje de velocidad de flujo libre (PFFS).

El cálculo se realiza mediante la aplicación de la siguiente formula.

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS} \quad [7]$$

$PFFS$: Porcentaje de velocidad de flujo libre

ATS_d : Velocidad de viaje promedio en la dirección de análisis (millas/h);

FFS: Velocidad de flujo libre (millas/h).

Para este cálculo ya se tienen los, valor de ATS_d y del *FFS* ya han sido determinado en pasos anteriores.

➤ **Paso 8:** Selección del Nivel de Servicio.

Una vez que se tiene el valor del ATS_d , en la tabla siguiente, se procede a determinar el nivel de servicio, para efectos de este estudio al definirse la vía en estudio como una carretera clase III, se usaría la columna para carreteras tipo III.

Tabla 7. Nivel de servicio para carreteras de dos carriles.

Nivel de Servicio	Carretera tipo I		Carretera Tipo II	Carretera tipo III
	ATS (millas / h)	PTSF %	PTSF (%)	PFFS (%)
A	> 55	≤ 35	≤ 40	> 91.7
B	> 50 - 55	> 35 - 50	> 40 - 55	> 83.3 - 91.7
C	> 45 - 50	> 50 - 65	> 55 - 70	> 75.0 - 83.3
D	> 40 - 45	> 65 - 80	> 70 - 85	> 66.7 - 75.0
E	≤ 40	> 80	> 85	≤ 66.7

Fuente: Highway Capacity Manual 5th Edition, HCM 2010) Vol 2.

Después que se realice el análisis para determinar el nivel de servicio de los tramos en estudio de la situación actual de la vía en dos carriles de circulación (uno por sentido); si el nivel de servicio no es bueno, se procede a calcular la cantidad de carriles que se necesitan para mejorar el nivel de servicio de la vía en estudio.

1.6.3 Método para calcular la cantidad de carriles necesarios.

Se debe de realizar mediante el análisis de las carreteras multicarril (dos o más carriles por sentido) y las autopistas, se realiza con base lo indicado en el capítulo 14, (HCM 2010), el método es similar al del cálculo del capítulo 15, (HCM 2010), solo que se tiene que aplicar la metodología y formulas propias del capítulo 14, (HCM 2010); para calcular la cantidad de carriles que se requieren se deben de desarrollar las siguientes formulas:

➤ **Paso 1.** Estimación de Velocidad de Flujo Libre (FFS).

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad [8]$$

Donde:

FFS: Velocidad estimada de flujo libre (mi/h)

BFFS: Velocidad estimada de flujo libre ideal (mi/h)

f_{LW} : Ajuste por ancho de carril

f_{LC} : Ajuste por espacio lateral

f_M : Ajuste por tipo de separación o medianera

f_A : Ajuste por puntos de acceso

➤ **Paso 2.** Determinación del Flujo de Servicio.

Para obtener este parámetro se aplica la siguiente fórmula:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad [9]$$

Donde:

V_p : Flujo de servicio (veh/h/carril)

V: Volumen(veh/h)

PHF: Factor de hora pico

N: Número de carriles

f_{HV} : Factor por vehículos pesados

f_p : Factor por tipo de usuario, que, como se indicó el apartado 1.6.1, tendrá un valor de 0.8.

Para el desarrollo de las fórmulas antes indicadas, se requiere como datos de entrada la siguiente información:

- Velocidad de operación máxima libre: Corresponde a la velocidad que podría desarrollar un conductor en la ruta si no existieran otros vehículos u obstáculos en la vía.

- Tipo de separación: La cual puede ser una medianera. Esto está relacionado con una disminución en la velocidad de operación por la inexistencia de barrera central.
- Ancho de carriles y espaldones: Corresponde al ancho de carriles y espaldones propuestos.
- Puntos de acceso a la carretera: Se considera una afectación al tránsito libre, implicando una reducción a la velocidad.
- Volúmenes de circulación: Se deben ingresar por sentido de circulación.
- Factor de hora pico.
- Tipo de terreno.
- Porcentaje de vehículos livianos y pesados: En este caso se deben incluir tanto los camiones como los autobuses y se utilizará los datos provistos por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT.

1.7 Antecedentes

No se cuenta con antecedentes de estudio de funcionabilidad en los tramos en estudios de la Ruta Nacional N° 21.

1.8 Fundamento Jurídico

- Highway Capacity Manual 5th Edition (HCM 2010) Vol 2, (Manual de Capacidad Vial, HCM 2010).
- SIECA. (2014). Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito. Guatemala: SIECA.

2. Desarrollo

El presente apartado muestra las características y los resultados obtenidos para cada uno de los tramos analizados, incluyendo los datos que dieron origen a los resultados finales del presente estudio.

2.1 Condición real

2.1.1 Ubicación geográfica

A continuación, se da una referencia geográfica mediante un software de mapeo de posicionamiento global, de cada uno de los tramos en estudio de la Ruta Nacional N°21, en los cantones de Liberia y Santa Cruz en la Provincia de Guanacaste.

2.1.2 Tramo, Liberia – Aeropuerto Daniel Oduber Quirós, sección de control 50081.



Imagen N° 1. Ubicación geográfica del tramo Liberia - Aeropuerto.

Fuente: Geo Portal MOPT, 2022.

Para este caso en particular, el factor de hora pico se obtuvo de los conteos y análisis que se realizó de un estudio de semáforo peatonal que se realizó este año, frente a la Universidad de Costa Rica, sobre la Ruta Nacional N°21, en la misma sección de control que se realiza el estudio

2.1.3 Tramo, Aeropuerto Daniel Oduber Quirós – Guardia, sección de control 50082.



Imagen N° 2. Ubicación geográfica del tramo Aeropuerto - Guardia.

Fuente: Geo Portal MOPT, 2022.

2.1.4 Tramo, Río Cañas Nuevo - Entrada Ruta Nacional 931, Secciones de control 50100 y 50120.

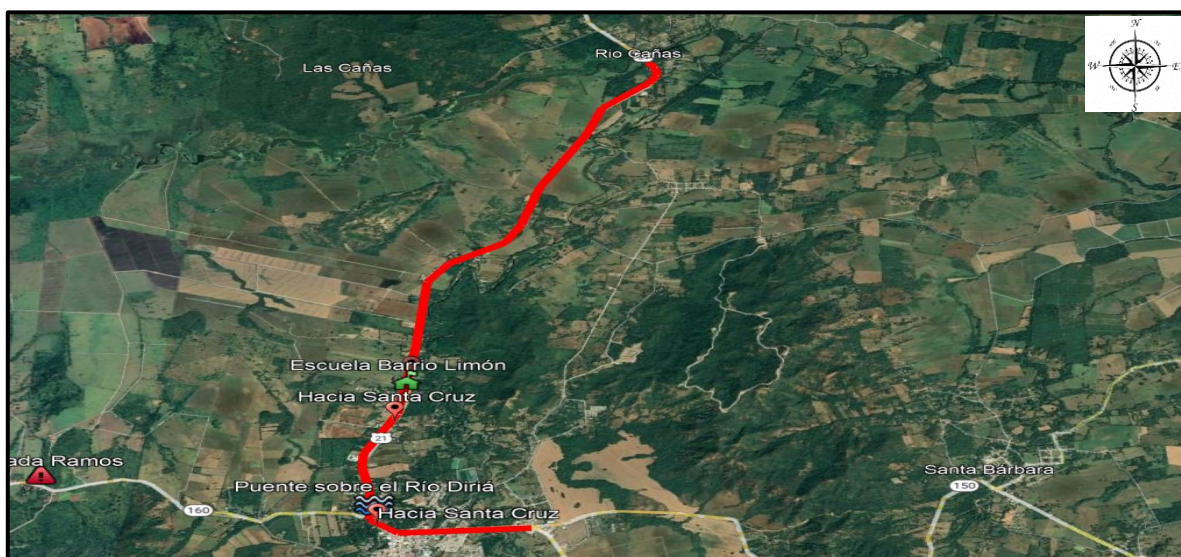


Imagen N° 3. Ubicación geográfica del tramo, Río Cañas Nuevo - Entrada Ruta Nacional 931.

Fuente: Geo Portal MOPT, 2022.

2.2 Criterio para determinar el volumen horario para los tres tramos.

Con base a la información suministrada por el Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial MOPT, el valor del TPD es de 16474 vehículos para el presente año de la estación 509, ubicada sobre la Ruta Nacional N° 21 en las cercanías de la Delegación de la Policía de Tránsito.

Para el caso de la estación 549, a partir de la información del Anuario de Tránsito del 2020, para el año 2015, el TPD es de 11005 vehículos, lo cual para traer el valor al presente hay que proyectarlos.

Se identificó que las estaciones 790 y 780, a pesar de ser consecutivas, presentan valores de TPD muy distintos, por lo que, como ambas presentan la misma geometría, se considerará para todo ese tramo el valor de TPD más alto, correspondiente a la estación 790, para la cual el TPD para el año 2015 es de 12274 vehículos, e igual hay que proyectarlos para obtener los valores del presente.

A continuación, se muestran los datos del TPD.

Tabla 8. Datos de TPD por estación

RUTA	SECCIÓN	ESTACIÓN	AÑO	TPDA	LIVIANO	CAR_LIV	BUS	CAM2	CAM3	CAM4	CAM5	CAM6	ORIGEN	TIPO
10	30480	6	2015	6898	59,8	18,74	3,92	7,92	3,09	1,08	3,74	1,71	CONTEO	P
10	30001	591	2015	10290	67,85	17,05	4,11	4,79	2,06	0,86	1,77	1,51	CONTEO	P
10	30002	588	2015	3145	51,87	27,92	4,25	8,64	1,56	0	4	1,76	CONTEO	P
10	70420	795	2015	2588	55,49	27	2,46	8,84	1,71	0,16	2,95	1,39	CONTEO	P
14	60251	714	2016	3273	61,9	19,44	3,57	8,73	2,78	0,4	2,78	0,4	CONTEO	P
14	60252	0	2016	5797	73,79	17,3	3,56	2,8	1,02	0	1,02	0,51	CONTEO	P
17	60190	507	2015	5127	59,78	18,53	10,92	6,69	1,69	0,22	1,21	0,96	CONTEO	P
17	60621	508	2015	15986	71,71	12,41	9,73	5,99	0,08	0,03	0,05	0	CONTEO	A
17	60622	508	2015	15986	71,71	12,41	9,73	5,99	0,08	0,03	0,05	0	CONTEO	P
17	60622	0	2015	11217	71,58	12,5	9,76	5,98	0,1	0,04	0,04	0	CONTEO	P
17	60623	508	2015	15986	71,71	12,41	9,73	5,99	0,08	0,03	0,05	0	CONTEO	A
18	50850	721	2015	5005	54,09	19,57	2,13	8,07	2,77	1,42	6,92	5,03	CONTEO	P
18	51110	0	2015	3848	53,25	26,51	3,29	7,16	3,47	1,62	2,24	2,46	CONTEO	P
18	50742	722	2015	5473	59,41	23,91	2,24	9,11	1,62	0,28	2,27	1,16	CONTEO	P
18	50741	722	2015	5473	59,41	23,91	2,24	9,11	1,62	0,28	2,27	1,16	CONTEO	A
21	50081	509	2018	14282	61,35	25,99	3,32	5,68	2,42	0,04	1,2	0	CONTEO	P
21	50082	549	2015	11005	67,76	19,66	3,17	6,67	1,49	0,15	0,74	0,36	CONTEO	P
21	50091	788	2015	7455	65,26	21,51	4,76	6,41	1,36	0,02	0,45	0,23	CONTEO	P
21	50092	425	2015	6680	64,59	22,12	3,44	7,11	1,63	0,04	0,81	0,26	CONTEO	P
21	50093	425	2015	6680	64,59	22,12	3,44	7,11	1,63	0,04	0,81	0,26	CONTEO	A
21	50100	790	2015	12274	67,59	22,22	2,57	5,75	0,97	0,08	0,5	0,32	CONTEO	P

Fuente. Anuario de Información de Tránsito 2020.

Para el presente estudio lo que se necesita es el valor del volumen de vehículos por hora (veh/h), el cual se obtiene multiplicado el valor de TPD por el factor horario.

Para este caso, para poder obtener el valor de veh/h, se realiza la proyección del TPD para la situación actual del proyecto ya que el año de los conteos es de 2015, mismos que se muestran en la tabla N° 8, y, además se realiza la proyección de datos para un periodo de 20 años, a partir del presente año, aplicando la formula N° 2. En la siguiente tabla se muestran los resultados de ambos.

Tabla 9. Cálculo del TPD proyectado actual y proyectado a 20 años.

Datos de TPD y secciones documento para situación actual y proyectados a 20 años					
Estación	Ubicación	TPD 2015	% Crecimiento	TPD 2022	TPD 2042
509	Policía de tránsito	*	4.39	16474	38902
549	Guardia, puente Río Tempisque	11005	4.61	15086	37686
790	Entrada a Santa Cruz, puente Río Diría	12274	4.78	17019	43301

* Para esta estación el Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial MOPT, suministro la información actualizada para el presente año (2022).

Como se mencionó anteriormente, para desarrollar el presente estudio el valor que se necesita, es el valor de veh/h, el cual se obtiene multiplicando los valores del TPD de la tabla anterior (tanto para el presente año como para el año 2042, según sea el caso) por el factor horario. Dicho factor se obtiene de la información suministrada por el Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial MOPT. Para la estación 509 se aplica un valor de 7.95%; para la estación 549 también se aplica un valor de 7.95% y para la estación 790 se aplica un valor de 8 %.

Una vez que se tienen los valores antes mencionados, se procede a calcular los valores veh/h para el presente año y los valores del veh/h proyectados a 20 años. En la siguiente tabla se reflejan los valores del veh/h con base al TPD.

Tabla 10. Cálculo del volumen vehicular horario.

Datos de tránsito volumen horario para situación actual y proyectados a 20 años						
Estación	TPD 2022	TPD 2042	Geometría en el 2022	Factor horario (%)	Volumen horario 2022 (veh/h)	Volumen horario proyectado 2042 (veh/h)
509	16474	38902	2 carriles de 3,30 m, un carril por sentido, espaldones laterales de 0.5 m en ambos costados de la vía.	7.95	1311	3095
549	15086	37686	2 carriles de 3,30 m, un carril por sentido, espaldones laterales de 0.5 m en ambos costados de la vía.	7.95	1200	3000
790	17019	43301	2 carriles de 3.30 m, un carril por sentido, espaldones laterales de 0.5 m en ambos costados de la vía.	8	1360	3460

Realizado los cálculos para obtener el veh/h para cada una de las estaciones, a continuación, se describen las características para cada uno de los tramos:

Tabla 11. Características, tramo Liberia – Aeropuerto Daniel Oduber Quirós, sección de control 50081.

Descripción	Cantidades	Cantidades con unidades convertidas
Longitud del tramo en estudio	10 km	6 millas
Volumen total en ambas direcciones (valor de Tabla N° 10)	1311(veh/H)	1311 (veh/H)
Distribución direccional en periodo de diseño	50/50	50%
Factor hora pico (FHP)	0.86	0.86
Zonas de no adelantamiento, ambas direcciones (formula n°1)	66.10%	66.10%
Terreno	plano	plano
% de Camiones (pesados) valor del TPD	5.50 %	5.50 %
% de vehículos livianos (recreacionales) valor del TPD	94.50 %	94.50 %
Ancho de Carril	3.3 m	10.8 pie
Ancho de espaldón	0.55 m	1.8 pie
Velocidad estimada de flujo libre ideal	80 (km/h)	50 (millas /h)
Cantidad de accesos por milla	8	8

Tabla 12. Características, Aeropuerto Daniel Oduber Quirós - Guardia, sección de control 50082.

Descripción	Cantidades	Cantidades con unidades convertidas
Longitud del tramo en estudio	8 km	5 millas
Volumen total en ambas direcciones (valor de Tabla N° 10)	1200 (veh/H)	1200 (veh/H)
Distribución direccional en periodo de diseño	50/50	50%
Factor hora pico (FHP)	0.86	0.86
Zonas de no adelantamiento, ambas direcciones (formula n°1)	60 %	60 %
Terreno	Plano	Plano
% de Camiones (pesados) valor del TPD	12. 58 %	12.58 %
% de vehículos livianos (recreacionales) valor del TPD	87.62 %	87.62 %
Ancho de Carril	3.3 m	10.8 pie
Ancho de espaldón	0.55 m	1.8 pie
Velocidad estimada de flujo libre ideal	80 (km/h)	50 (millas /h)
Acceso por milla	5	5

Tabla 13. Características, Río Cañas Nuevo-entrada Ruta Nacional 931 Secciones de control 50100.

Descripción	Cantidades	Cantidades con unidades convertidas
Longitud del tramo en estudio	11 km	7 millas
Volumen total en ambas direcciones (valor de Tabla N° 10)	1360 (veh/H)	1360 (veh/H)
Distribución direccional en periodo de diseño	50/50	50%
Factor hora pico (FHP)	0.9	0.9
Zonas de no adelantamiento ambas direcciones (formula n°1)	72. 9 %	72.9 %
Terreno	Plano	Plano
% de Camiones (pesados) valor del TPD	10. 1 %	10. 1 %
% de vehículos livianos (recreacionales) valor del TPD	89.9 %	89.9 %
Ancho de Carril	3.3 m	10.8 pie
Ancho de espaldón	0.55 m	1.8 pie
Velocidad estimada de flujo libre ideal	80 (km/h)	50 (millas/h)
Acceso por milla	6	6

Una vez que se determinó el valor veh/h y las características para cada uno de los tramos en estudio, con base en lo establecido en los capítulos 14 (HCM 2010) y Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, 3° Edición, SIECA 2011, se procedió a realizar los cálculos necesarios para determinar los niveles de servicio de la vía a dos carriles (un carril por sentido), en la siguiente tabla se observan los resultados.

Tabla 14. Resultados de nivel de servicio en la situación actual con 1 carril por sentido

Tramo	Estación	Volumen horario	Nivel de servicio
Liberia -Aeropuerto	509	1311	D
Aeropuerto - Guardia	549	1200	D
Río Cañas Nuevo - entrada Ruta Nacional 931	790	1360	D

Según las características actuales de la vía, en los tres tramos de la Ruta Nacional N° 21, donde se realizó el análisis funcional utilizando la metodología descrita en el capítulo 1.6 de este informe, se determinó que el nivel de servicio actual para los tres tramos es “**D**”, lo cual significa que el flujo se está acercando a un flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar, los cálculos para determinar el nivel de servicio actual, el análisis se pueden ver en el apartado del **Anexo A**. Como el nivel de servicio no es el que se necesita según el tipo de carretera, para mejorar el nivel de servicio se necesitarían más carriles.

2.3 Problemática encontrada

Como se determinó en el apartado de la condición real, el nivel de servicio actual es “**D**”, lo cual, para el tipo de ruta en estudio no es el requerido, ya que, según lo indicado en la Tabla N° 1. Nivel de servicio según el tipo de carretera, la ruta debe tener un nivel de servicio “**B**”.

Este nivel de servicio “**D**” lo que refleja es la necesidad de cambiar la infraestructura vial mediante el aumento de la cantidad de carriles, por lo que es necesario efectuar ese análisis para determinar la cantidad de carriles que se requieren para mejorar el nivel de servicio.

2.4 Condición propuesta según la norma

En seguimiento a la metodología indicada en los capítulos 1.6.1, 1.6.2 y 1.6.3, de este, donde se definieron los conceptos y procedimientos necesarios para realizar los cálculos necesarios para determinar el nivel de servicio, la cantidad de carriles necesarios para mejorar el nivel de servicio de la vía, y los niveles de servicio de la vía con la cantidad de carriles necesarios para que la vía mejore el funcionamiento, adicionalmente se determinó el nivel de servicio proyectado a 20 años, a partir del presente año.

Una vez que se determinó que el nivel de servicio actual es “D”, tal y como se ve en la tabla 14, el cual no es el requerido para la demanda de la ruta, se procede a realizar los análisis necesarios para calcular la cantidad de carriles que se requieren por sentido de circulación para que la ruta tenga nivel de servicio “B”, utilizando las fórmulas descritas en el apartado 1.6.3 Método para calcular la cantidad de carriles necesarios.

El análisis completo para lograr el nivel de servicio “B”, se muestra en el **Anexo B**, determinándose que se requieren cuatro carriles de circulación (dos carriles por sentido).

En la siguiente tabla se muestran los resultados resumen de la vía con 2 carriles (1 carril por sentido) y 4 carriles (2 carriles por sentido).

Tabla 15. Resultados del nivel de servicio con 1 y 2 carriles por sentido.

Situación actual Año 2022				
Tramo	Volumen horario	Nivel de servicio actual con un carril por sentido	Cantidad de carriles que se requieren por sentido para mejorar el nivel de servicio	Nivel de servicio Con dos carriles por sentido
Liberia - Aeropuerto	1311	D	2	B
Aeropuerto - Guardia	1200	D	2	B
Río Cañas Nuevo - entrada Ruta Nacional 931	1360	D	2	B

Como se puede apreciar en la tabla anterior, con una vía de 4 carriles (dos carriles por sentido), con valores de veh/h igual al usado en el cálculo de la situación actual de la vía con 2 carriles (un carril por sentido), para cada uno de los tramos en análisis el nivel de servicio pasa a ser “B”, el cual es el recomendado según lo indicado en la Tabla N° 1. Nivel de servicio según el tipo de carretera.

Posteriormente para conocer el nivel de servicio de la vía con 4 carriles (2 carriles por sentido) de circulación (dos carriles por sentido) en 20 años a partir del año 2022, se realizó el cálculo utilizando igualmente las fórmulas descritas en el apartado 1.6.3 Método para calcular la cantidad de carriles necesarios, el análisis se desarrolló en el **Anexo C**, determinándose que el nivel de servicio con la vía a cuatro carriles (dos por sentido) en el año 2042 sería “D”. Los valores se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 16. Resultados de nivel de servicio con 4 carriles en el 2042

Nivel de servicio con 4 carriles de circulación			
Tramo	2042		
	Volumen horario estimado para 4 carriles	Volumen horario estimado para 2 carriles por sentido	Nivel de servicio
Liberia -Aeropuerto	3095	1547	D
Aeropuerto – Guardia	3000	1500	D
Río Cañas Nuevo - entrada Ruta Nacional 931	3460	1730	D

2.5 Causa

El presente estudio se realiza debido a los congestionamientos que se generan actualmente con la vía de dos carriles (un carril por sentido) en los tramos en análisis lo que lleva a un mal funcionamiento de la vía, por lo que se realizó el presente estudio para determinar el nivel de servicio actual de la vía y determinar si es necesario buscar medidas correctivas.

2.6 Efecto

Como se pudo apreciar en la **Tabla 15**. Resultados de nivel de servicio con 1 o 2 carriles por sentido, con la construcción de nuevos carriles (un carril más por sentido), pasando la vía de dos a cuatro carriles (dos carriles por sentido) se tendría una mejor fluidez y los niveles de servicio pasarían de “D” a “B”, lo que repercutirá en un mejor funcionamiento de la vía, a la vez contribuya al ordenamiento y seguridad vial.

3. Conclusiones

Tomando en consideración los análisis realizados anteriormente se concluye lo siguiente:

- a) Una vez realizado el levantamiento geométrico de campo, se determinó que la vía actualmente cuenta con dos carriles de circulación (uno por sentido), cada carril presenta un ancho promedio de 3,30 m, presenta un promedio de 8 accesos secundarios por kilómetro, presenta espaldones con un ancho no adecuado y un promedio de 60 % zonas de no adelantamiento en los tramos en estudio.
- b) La Ruta es bastante usada por turistas nacionales y extranjeros, por lo que muchos de los usuarios no están familiarizados con la vía, además que la vía es la principal de acceso y salida del aeropuerto Daniel Oduber Quirós.
- c) Con base en la información suministrada por el Departamento de Secretaria de Planificación Sectorial del MOPT, se procedió a procesar la información suministradas para poder determinar variables que eran necesarias para el análisis del presente estudio.
- d) En las orillas de la vía existen varios centros de atracción, tanto privados como públicos, varios centros educativos como escuelas, colegios, universidades y el INA.
- e) Es importante considerar que los tramos en estudio de la Ruta Nacional N° 21, actualmente no presentan un nivel de servicio que sea adecuado, debido a las velocidades de operación, ausencia de separación física entre sentidos de circulación, ausencia de espaldones, presencia de entorno residencial y comercial al margen de la vía, alta densidad vehicular y de accesos secundarios, por lo que las interacciones se incrementan y se reduce la velocidad máxima permitida, lo que se traduce en recorridos más lentos debido al entorno urbano con sus respectivas restricciones (semáforos vehiculares y peatonales, maniobras de acceso a propiedades y velocidades bajas), lo cual genera adelantamientos indebidos con potencial riesgo de choque frontal y muerte en sitio.
- f) Al realizar los análisis del estudio, se determinó que el nivel de servicio actual, no cumple, adicionando un carril de circulación por sentido, el nivel de servicio mejora, cumpliendo con

lo indicado para seleccionar el nivel de servicio de una carretera, en función de su tipología y las características del terreno de la vía en estudio

- g) En el presente estudio lo que se busco fue mediante análisis mejorar el nivel de servicio, funcionabilidad y seguridad de la vía, actualmente, también se realizaron los análisis proyectados a 20 años a partir del presente año, que es cuando se realiza el análisis; sin embargo, el presente estudio presenta limitaciones importantes que requieren de un estudio más detallado que refleje resultados más precisos del nivel de servicio, considerando cuando sería un posible año de inicio de que entre en operación una posible ampliación de la vía a 4 carriles (2 carriles por sentido), y a partir de ese año, realizar el análisis para estimar en que año la ampliación a cuatro de carriles deja de tener un nivel de servicio funcional y calcular el nivel de servicio con proyección a 20 años, como vida útil del proyecto a cuatro carriles, partiendo del presente año.

4. Recomendaciones

Considerando los análisis funcionales antes descritos la DGIT recomienda al Departamento de Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT, lo siguiente:

- a) Al llevar a cabo una ampliación de la carretera en los tramos mencionados en este estudio a cuatro carriles (dos por sentido), mejoraría el nivel de servicio, disminuyendo la densidad vehicular, los tiempos de recorrido y por ende los costos de operación. Además, aumentaría la seguridad vial al disminuir al mínimo la posibilidad de choques frontales y las condiciones opuestas al manejo seguro.
- b) Efectuar un nuevo estudio funcional cuando se hayan definido el posible año de entrar en operación la vía a cuatro carriles, para establecer con mayor precisión el nivel de servicio real para ese año y además poder determinar los años en que la vía con cuatro carriles, tenga un nivel de servicio adecuado, sino para para implementar medidas correctivas.

5. Glosario

Capacidad de una vía: El flujo máximo del tránsito en una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica, que se mide en vehículos por kilómetro, y el tránsito se mueve a la velocidad crítica. A medida que se alcanza la capacidad de una carretera, el flujo vehicular se torna menos estable, porque las brechas disponibles para maniobrar en la corriente del tránsito se reducen. En estas condiciones, la operación se vuelve difícil de sostener por largos períodos, se forman largas colas y el flujo se torna forzado o se interrumpe.

Conteos: suma aritmética de la cantidad de peatones o vehículos y sus direcciones.

Hora pico: denominación que se le da al periodo de mayor tránsito vehicular o peatonal.

Calzada: superficie de la vía sobre la que transitan los vehículos y que está compuesta por uno o varios carriles de circulación. No incluye el espaldón.

Carriles de circulación: es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento la sumatoria de los carriles.

Distribución direccional del tránsito: Es la cantidad porcentual de vehículos por sentido de circulación.

Factor de hora pico o FHP: se expresa como la relación que siempre será igual o menor que la unidad, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor registrado durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. O sea que, al afectar los volúmenes horarios de diseño por este factor, se están asumiendo las condiciones más exigentes de la demanda, a las cuales debe responder la propuesta de solución de reconstrucción, mejoramiento o ampliación de una carretera determinada.

Composición del Tránsito Vehicular: Es la distribución porcentual de los diferentes tipos de vehículos por su peso, en el análisis se distinguen cuatro tipos: livianos, pesados, autobuses y recreacionales.

6. Bibliografía

- Highway Capacity Manual 5th Edition (HCM 2010) Vol 2, (Manual de Capacidad Vial, HCM 2010).
- SIECA. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala: SIECA.

ANEXO A

En este apartado se desarrolladora la memoria de cálculo para uno de los tres puntos en estudios, debido a que para los otros puntos la metodología es similar, se utiliza la metodología de los capítulos 14 y capítulo 15, (HCM 2010).

Cálculo del nivel de servicio mediante la metodología del capítulo 15(HCM2010)

PASO 1. Consiste en identificar las características de la vía con dos carriles de circulación (un carril por sentido), en este caso desde la (Intersección de la RNN°1 hasta el Aeropuerto Daniel Oduber Quirós, Liberia).

Descripción	Cantidades	Cantidades con unidades convertidas
Longitud del tramo en estudio	10 km	6 millas
Volumen total en ambas direcciones (valor de Tabla N° 10)	1310(veh/H)	1310 (veh/H)
Distribución direccional en periodo de diseño	50/50	50%
Factor hora pico (FHP)	0.86	0.86
Zonas de no adelantamiento, ambas direcciones (formula n°1)	66.10%	66.10%
Terreno	plano	plano
% de Camiones (pesados) valor del TPD	5.50 %	5.50 %
% de vehículos livianos (recreacionales) valor del TPD	94.50 %	94.50 %
Ancho de Carril	3.3 m	10.8 pie
Ancho de espaldón	0.55 m	1.8 pie
Velocidad estimada de flujo libre ideal	80 (km/h)	50 (millas /h)
Acceso por milla	8	8

PASO 2. Es la Estimación de Velocidad de Flujo Libre (FFS):

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Donde:

FFS : Velocidad estimada de flujo libre(millas/h).

$BFFS$: Velocidad base de flujo libre (millas/h).

F_{LS} : Ajuste por espacio lateral.

F_A : Ajuste por puntos de acceso.

El valor de BFFS es igual: **50 (millas /h)**

De las tablas 17-7 y 15 - 8 del (HCM 2010), se procede a calcular los valores de FLS y FA:

Las tablas 15-7 y 15-8 del (FHWA 2016)) se procede a calcular los valores de f_{LS} y f_A .

f_{LS} :

5,3

f_A :

2

Lane Width (ft)	Shoulder Width (ft)			
	$\geq 0 < 2$	$\geq 2 < 4$	$\geq 4 < 6$	≥ 6
$\geq 9 < 10$	6.4	4.8	3.5	2.2
$\geq 10 < 11$	5.3	3.7	2.4	1.1
$\geq 11 < 12$	4.7	3.0	1.7	0.4
≥ 12	4.2	2.6	1.3	0.0

Access Points per Mile (Two Directions)	Reduction in FFS (mi/h)	
0	0.0	0.0
10	8	2.5
20		5.0
30		7.5
40		10.0

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Exhibit 15-7

Adjustment Factor for Lane and Shoulder Width (f_{LS})

Exhibit 15-8

Adjustment Factor for Access-Point Density (f_A)

Al tener un valor de 8 accesos por milla se debe de interpolar el valor en la Tabla 15-8

Exhibit 15-7
Adjustment Factor for Lane and Shoulder Width (f_{LS})

Exhibit 15-8
Adjustment Factor for Access-Point Density (f_A)

Al tener un valor de 8 accesos por milla se debe de interpolar el valor en la Tabla 15-8

$$FFS = 50 - 5,3 - 2$$

$$FFS = 42 \text{ millas/h}$$

PASO 3. Corrección de Volumen para la velocidad Promedio de viaje (ATS), El cálculo para el ajuste del Volumen para la velocidad Promedio de viaje (ATS), debe de realizarse para cada dirección, la de mayor demanda y el flujo contrario, mediante la siguiente formula:

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}}$$

Donde:

$V_{i,ATS}$: tasa de flujo de demanda para la estimación de ATS (pc/h)

V_i : volumen de demanda para la dirección i(veh/h)

PHF (FHP): factor de hora pico

$f_{g,ATS}$: factor de ajuste según tipo de terreno

$f_{H,ATS}$: factor de ajuste de vehículos pesados

Para calcular el $V_{i,ATS}$: hay que calcular la cantidad de vehículos por sentido y posteriormente se multiplica por PHF . Debido a que dichos valores se necesitan en la tabla 15.9 para calcular $f_{g,ATS}$ y la tabla 15.11 $f_{HV,ATS}$.

$$V_d = \left(V_{veh/h} \right) \times \% \text{ de vehículos por dirección}$$

$$V_d = 1310 \text{ veh/h} \times 0.50$$

$$V_d = 655 \text{ veh/h}$$

$$\text{Valor Corregido} = \frac{V_d}{FHP}$$

$$\text{Valor Corregido} = \frac{655 \text{ veh/h}}{0.86}$$

$\text{Valor Corregido} = 762 \text{ veh/h}$ En este caso el valor de V_d es igual al V_o , debido a la cantidad de % vehículos por sentido es igual en ambos sentidos.

Una vez que se tiene el valor del flujo de los vehículos corregidos se procede a ingresar los valores en la tabla 15-9, del (HCM 2010), para obtener el valor de $f_{g,ATS}$, en las características se había indicado que el tipo de terreno es plano, de ser necesario se debe de interpolar para obtener el valor.

One-Direction Demand Flow Rate, $V_{veh/h}$ (veh/h)	Adjustment Factor	
	Level Terrain and Specific Downgrades	Rolling Terrain
≤100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98
800	1.00	0.99
≥900	1.00	1.00

Note: Interpolation to the nearest 0.01 is recommended.

Exhibit 15-9
ATS Grade Adjustment Factor
($f_{g,ATS}$) for Level Terrain, Rolling
Terrain, and Specific Downgrades

El valor de $f_{g,ATS} = 1$

El factor de ajuste de vehículos pesados ($f_{HV,ATS}$), se obtiene de la siguiente formula:

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

$F_{HV,ATS}$: Factor por vehículos pesados

P_T : Porcentaje de pesados y buses

E_T : Factor de Vehículo liviano equivalente a un camión o bus

P_R : Porcentaje de vehículos recreacionales

E_R : Factor de vehículo liviano equivalente a un vehículo recreacional

Los valores P_T y P_R , ya se tienen definidos en las características, los valores son los siguientes

P_T : 0,055

P_R : 0,945

Los valores E_T y E_R , se obtienen de la tabla 15-11 del HCM 2010.

Exhibit 15-11 ATS Passenger Car Equivalents for Trucks (E_T) and RVs (E_R) for Level Terrain, Rolling Terrain, and Specific Downgrades		Directional Demand Flow Rate, V_{dir} (veh/h)	Level Terrain and Specific Downgrades	Rolling Terrain
		≤100	1.9	2.7
		200	1.5	2.3
		300	1.4	2.1
		400	1.3	2.0
		500	1.2	1.8
		600	1.1	1.7
Trucks, E_T	=1.1	700	1.1	1.6
		800	1.1	1.4
		≥900	1.0	1.3
RVs, E_R	=1	All flows	1.0	1.1

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

En este caso no se requiere interpolación para el valor de volumen 762 veh/h

$$E_T = 1.1$$

$$E_R = 1$$

Una vez obtenidas las variables necesarias se procede a calcular el $f_{HV,ATS}$:

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.055(1.1 - 1) + 0.945(1 - 1)} = \mathbf{0.9945}$$

Se procede a calcular el V_i , ATS, primero se calcularía para la dirección de flujo y después para el flujo opuestos, en este caso se hace solo un cálculo, esto debido a la distribución del tránsito para ambos lados es igual, por lo que el resultado es el mismo.

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}}$$

V_d : 655 veh/h

PHF : 0,86

$f_{g,ATS}$: 1

$f_{HV,ATS}$: 0,9945

$$v_{i,ATS} = \frac{655}{0.86 \times 1 \times 0.9945} = \mathbf{766 \text{ veh/h}}$$

PASO 4. Velocidad de viaje promedio (ATS):

Mediante la siguiente formula, se obtiene el valor de la Velocidad de viaje promedio (ATS).

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Donde:

ATS_d : Velocidad de viaje promedio en la dirección de análisis (millas/h);

FFS : Velocidad de flujo libre (millas/h).

$V_{d,ATS}$: Tasa de flujo de demanda para la determinación de ATS en la dirección de análisis (Veh/h).

$V_{o,ATS}$: Tasa de flujo de demanda para la determinación de ATS en la dirección opuesta (Veh/h).

$f_{np,ATS}$: Equivalente de corrección para zonas de no adelantamiento en la dirección de análisis.

En este punto la mayoría de variables ya se tienen de los cálculos realizados en los análisis anteriores, solo falta de averiguar el valor de $f_{np,ATS}$:

FFS: 42 millas / h

Vd, ATS: 766 Veh/ h

Vo, ATS: 766 Veh/h

De la tabla 15-11 del HCM 2010, se obtiene el valor de **fnp, ATS**:

Exhibit 15-15
ATS Adjustment Factor for
No-Passing Zones ($f_{np,ATS}$)

66, 10%

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	Percent No-Passing Zones				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS ≥ 65 mi/h					
≤100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1,000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1,200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1,400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥1,600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
FFS = 60 mi/h					
≤100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	2.8
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1,000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1,200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1,400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FFS = 55 mi/h					
≤100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1,000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1,200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1,400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
FFS = 50 mi/h					
≤100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1,000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1,200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1,400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1,600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FFS ≤ 45 mi/h					
≤100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.0	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1,000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1,200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1,400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥1,600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

f_{np,ATS} : 0,981

Note: Interpolation of $f_{np,ATS}$ for percent no-passing zones, demand flow rate, and FFS to the nearest 0.1 is recommended.

$$ATS_d = 42 - 0.00776(766 + 766) - 0.981 = 29.2 \text{ millas / h}$$

PASO 7. El porcentaje de velocidad de flujo libre (PFFS)

El cálculo se realiza mediante la aplicación de la siguiente formula.

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS}$$

PFFS: Porcentaje de velocidad de flujo libre

ATS_d: Velocidad de viaje promedio en la dirección de análisis (millas/h);

FFS: Velocidad de flujo libre (millas/h).

Los valores de *ATS_d* y del *FFS* ya han determinado en cálculos anteriores.

ATS_d: 29,2 (millas/h);

FFS: 42 (millas/h).

$$PFFS = \frac{29.2}{42} = 69.5$$

Paso 8. Selección del Nivel de Servicio.

Con el valor del PFFS, en la tabla 15-3 del HCM-2010, se puede determinar el nivel de servicio.

LOS	Class I Highways		Class II Highways	Class III Highways	Exhibit 15-3 Automobile LOS for Two-Lane Highways
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)	
A	>55	≤35	≤40	>91.7	
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7	
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75.0-83.3	
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75.0	
E	≤40	>80	>85	≤66.7	

El resultado del **PFFS** al ser **69.81**; para una carretera Tipo III, la cual fue la que se seleccionó para este estudio, del cuadro anterior se puede determinar que el Nivel de Servicio es "**D**".

ANEXO B

Análisis para calcular la cantidad de carriles requeridos para mejorar la funcionabilidad de la vía

Una vez determinado el nivel de servicio actual de la vía, con base la metodología del **capítulo 14, (HCM 2010)**, se procede a calcular la cantidad de carriles necesarios para que mejore el nivel de servicio de la vía.

PASO 1. Consiste en identificar las características de la vía con cuatro carriles de circulación (dos carriles por sentido), en este caso desde la (Intersección de la RNN°1 hasta el Aeropuerto Daniel Oduber Quirós, Liberia).

Descripción	Cantidades	Cantidades con unidades convertidas
Longitud del Tramo en estudio	10 km	6 millas
Volumen total en ambas direcciones (valor dividido de Tabla N° 10)	655 (veh/H)	655 (veh/H)
Distribución Direccional en periodo de diseño	50/50	50 %
Factor hora pico (FHP)	0.86	0.86
Zonas de adelantamiento (ambas direcciones) (formula n°1)	66.10%	66.10 %
Terreno	plano	plano
% de Camiones (pesados) valor del TPD	5.50%	0.055
% de vehículos livianos (recreacionales) valor del TPD	94.50%	0.945
Ancho de Carril	3.6 m	11.8 ft
Espacio lateral derecho LCR	1.5 m	4.9 ft
Espacio lateral Izquierdo LCL	0.5 m	1.6 ft
Velocidad estimada de flujo libre ideal	90 (km/h)	56 millas/ h
Accesos por millas	8	8
Nivel de Servicio actual	D	D

Luego se procede a determinar el Flujo, se realiza mediante la siguiente

PASO 2. Estimación de Velocidad de Flujo Libre (FFS)

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

Donde:

FFS: Velocidad estimada de flujo libre (mi/h)

BFFS: Velocidad estimada de flujo libre ideal (mi/h)

f_{LW}: Ajuste por ancho de carril

f_{LC}: Ajuste por espacio lateral

f_M: Ajuste por tipo de separación o medianera

f_A: Ajuste por puntos de acceso

$$BFFS = 56 \text{ millas /h}$$

El f_{LW} , se determina de la tabla 14-8, del HCM 2010, con base al ancho de carril.

Lane Width (ft)	Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h)	
>12	0.0	
≥11-12	1.9	FLW:1,9
≥10-11	6.6	

Para poder determinar f_{LC} , se debe de calcular el **TLC**, el cual es la suma del espacio laterla derecho más el lateral izquierdo.

$$TLC = LCR + LCL$$

$$LCR = 4.9 \text{ pies}$$

$$LCL = 1.6 \text{ pies}$$

$$TLC = 6.5 \text{ pies}$$

Una vez que se calcula el **TLC**, de la tabla 14-10, HCM-2010, se determina el f_{LC} , para este caso hay que realizar una interpolación.

Four-Lane Highways		Six-Lane Highways	
TLC (ft)	Reduction in FFS (mi/h)	TLC (ft)	Reduction in FFS (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.

$$FLC = 1.2$$

El f_M , se determina según el tipo de separación de la vía, con base la tabla 14-10, HCM-2010, en este caso se asume una división con una barrera medianera.

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

El ajuste por cantidad de accesos (f_A), se calcula la tabla 14-11, HCM-2010, debido a que son 5 accesos por millas, se debe de interpolar.

Access-Point Density (access points/mi)	Reduction in FFS, f_A (mi/h)	
0	0.0	2
10	2.5	
20	5.0	
30	7.5	
≥40	10.0	
Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.		

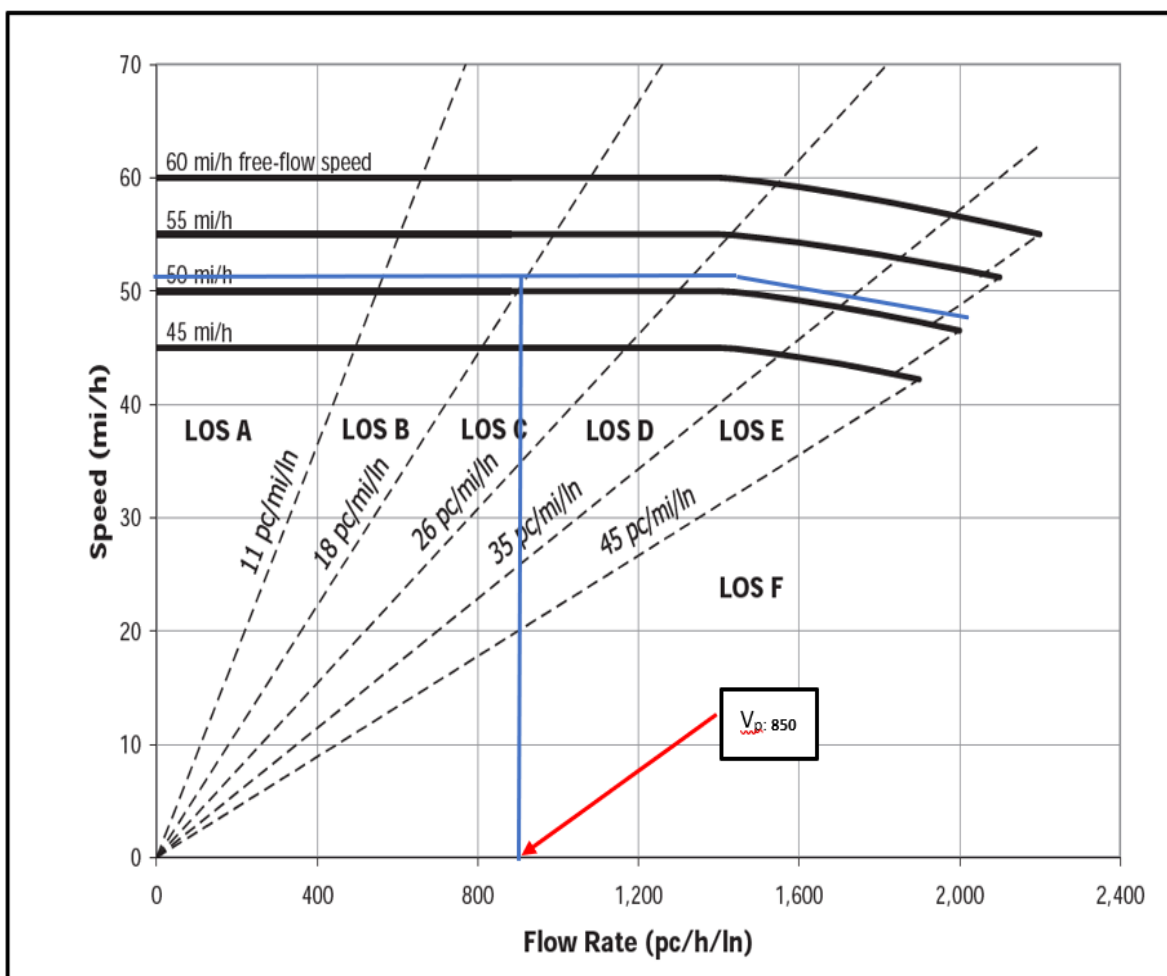
$$FA = 2$$

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

$$FFS = 56 - 1.9 - 1.2 - 0 - 2$$

$$FFS = 50.9 \text{ millas /h}$$

Posteriormente en el grafico 14-5. HCM-2010. se proyecta el resultado de Velocidad estimada de flujo libre. y se determina que el nivel de servicio sea "A". intersecando la línea de proyección para el nivel de servicio seleccionado. para luego proyectar el flujo de servicio (V_p). para calcular la cantidad de carriles.



Determinación del flujo: se realiza mediante la siguiente formula.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

Donde:

V_p: Flujo de servicio (veh/h/carril)

V: Volumen (veh/h)

FHP: Factor de hora pico

N: Número de carriles

FHV: Factor por vehículos pesados

F_p: Factor por tipo de usuario

El **Fp**: Para este caso se va a considerar un valor 0,8 debido a que un buen porcentaje de usuarios no está familiarizado con la vía, por ser una de las principales vías, utilizada por los turistas tanto nacionales como internacionales que visitan los diferentes lugares turísticos de la zona, además cerca de la vía se encuentra el aeropuerto internacional Guanacaste.

De las variables anteriores, falta calcular el **FHV**, el cual se calcula mediante la siguiente formula.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

FHV: Factor por vehículos pesados

PT: Porcentaje de pesados y buses

ET: Vehículo liviano equivalente a un camión o bus

PR: Porcentaje de vehículos recreacionales

ER: Vehículo liviano equivalente a un vehículo recreacional

Los valores *ET* y *ER*, se obtienen de la tabla 14-12 del HCM 2010.

Vehicle	Level	PCE by Type of Terrain	
		Rolling	Mountainous
Trucks and buses, E_T	1.5	2.5	4.5
RVs, E_R	1.2	2.0	4.0

$$E_T = 1.5$$

$$E_R = 1.2$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.055(1.2 - 1) + 0.945(1.2 - 1)} = 0.822$$

FP: Se utilizará el valor de **0,8**

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

De la formula anterior se despeja para calcular el número de carriles que se requieren.

$$N = \frac{V}{FHP \times V_p \times FHV \times f_p}$$

$$N = \frac{655}{0.86 \times 850 \times 0.8220 \times 0.8} = 1.45 \approx 2$$

Según el análisis realizado para tener un nivel de servicio “B”, se requieren 2 carriles de circulación por sentido.

ANEXO C

Análisis para calcular el nivel de servicio de la vía con cuatro carriles (dos carriles por sentido), con proyección a 20 años a partir del presente año (2022).

Una vez determinado la cantidad de carriles necesarios para mejorar el nivel de servicio de la vía lo que repercutiría en una mejor funcionalidad de la vía, se realiza el cálculo del nivel de servicio proyectando la vía con cuatro carriles (dos carriles por sentido) a 20 años; con base la metodología **del capítulo 14. (HCM 2010)**, el cálculo es similar al que se realizó para determinar la cantidad de carriles, por lo que en este punto solo se anotaran los resultados de cada una de las formulara a desarrollar y solo se desarrollara el cálculo de la Densidad, el cual es un valor que se requiere para determinar el nivel de servicio.

Los pasos para calcular el nivel de servicio para una vía multicarril, en este caso para una vía de cuatro carriles, dos carriles por sentido es el siguiente:

PASO 1. Características de la vía.

PASO 2. Estimación de Velocidad de Flujo Libre (FFS).

PASO 3. Ajuste de Flujo de Demanda

PASO 4. Cálculo de la Densidad.

PASO 5. Determinar el Nivel de Servicio, mediante la tabla 14-14 del HCM 2010.

- 1) En este caso en las características son las mismas descritas para calcular las cantidades de carriles.
- 2) Estimación de Velocidad de Flujo Libre (FFS), ya se calculó en el paso anterior.

$$FFS = 50.9 \text{ millas /h}$$

- 3) Ajuste de Flujo de Demanda, en este caso la variable que cambia a diferencia al ejemplo anterior es el valor de “V”, en este caso se toma el valor proyectado a 20 años de la tabla N°10, en este caso para dos carriles de circulación por sentido en donde el valor de V: 1547 veh/h

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

$$v_p = \frac{1547}{0.86 \times 2 \times 0.82 \times 0.8}$$

$$v_p = 1367$$

- 4) Cálculo de la Densidad, el cual se realiza mediante la siguiente formula.

$$D = \frac{v_p}{V}$$

$$D = \frac{1367}{50}$$

$$D = 27$$

Para finalizar se determina el nivel de servicio en la siguiente tabla:

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