Rafael Méndez
INGENIERO CIVIL

MEJORAMIENTO DE VÌA TERCIARIA QUE INTERCOMUNICA A LOS CORREGIMIENTOS DE JARAQUIEL (MARGEN OCCIDENTAL), MARTINICA Y LETICIA, DEL MUNIICIPIO DE MONTERÌA, DEPARTAMENTO DE CÒRDOBA

ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO



CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2021

MEJORAMIENTO DE VÌA TERCIARIA QUE INTERCOMUNICA A LOS CORREGIMIENTOS DE JARAQUIEL (MARGEN OCCIDENTAL), MARTINICA Y LETICIA, DEL MUNIICIPIO DE MONTERÌA, DEPARTAMENTO DE CÒRDOBA

ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

CONTROL DE MODIFICACIONES

Versión No.	Fecha	Numeral modificado	Observaciones
01	Septiembre de 2021	-	Versión inicial

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Versión No.	Responsable por elaboración y aprobación		
01	Ingeniero especialista	Nombre:	Rafael Méndez
		Firma:	
		Fecha:	27-09-2021

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2021

MEJORAMIENTO DE VÍA TERCIARIA QUE INTERCOMUNICA A LOS CORREGIMIENTOS DE JARAQUIEL (MARGEN OCCIDENTAL), MARTINICA Y LETICIA, DEL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

TABLA DE CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
2. OBJETIVO Y ALCANCES 8
2.1. Objetivo General 8
2.2. Alcances 8
3. INFORMACIÓN SECUNDARIA 9
3.1. Series históricas del INVIAS 9
3.2. Contexto socioeconómico 13
3.2.1. Demografía 13
3.2.2. Economía 14
3.2.3. Uso del suelo 14
4. ANÁLISIS DE FLUJOS DE TRANSPORTE 16
4.1. Tránsito normal 16
4.2. Tránsito atraído 17
4.3. Tránsito generado 18
4.4. Proyección de tránsito futuro 18
4.4.1. PIB sector transporte 18
4.4.2. Pasajeros nacionales movilizados por vía terrestre 19
4.4.3. Carga terrestre movilizada 20
4.4.4. Tránsito de vehículos 21
4.4.5. Tasa de crecimiento 21
4.5. Número de ejes equivalentes de 8.2 ton en el periodo de diseño 22
5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO 24
5.1. Nivel de servicio 24

5.1.1. Velocidad a flujo libre 26
5.1.2. Volumen vehicular 26
5.1.3. Velocidad promedio 27
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estación de conteo INVIAS analizada 9
Tabla 2. Registro de aforos vehiculares – Estación Purgatorio-Montería (713) 10
Tabla 3. Registro de aforos vehiculares – Estación Puerto Rey-Montería (906) 11
Tabla 4. Resumen de aforos vehiculares vía Montería – Leticia 16
Tabla 5. Cálculo del tránsito promedio diario anual 17
Tabla 6. Distribución vehicular Año 2021 17
Tabla 7. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal 18
Tabla 8. Tasa de variación del PIB sector transporte 18
Tabla 9. Tasa de variación de pasajeros movilizados por vía terrestre 19
Tabla 10. Tasa de variación de carga terrestre movilizada 20
Tabla 11. Tasa de variación de tránsito de vehículos 21
Tabla 12. Cálculo de la tasa de crecimiento 21
Tabla 13. Periodo de diseño de la vía, según su geometría y TPD - INVIAS 22
Tabla 14. Factor de daño por tipo de vehículo 22
Tabla 15. Cálculo del número de ejes equivalentes de diseño 23
Tabla 16. Volumen vehicular para estimación de capacidad y niveles de servicio 24
Tabla 17. Niveles de servicio según HCM 2010 24
Tabla 18. Parámetros de diseño – Metodología HCM 2010 25
Tabla 19. Cálculo del volumen vehicular ajustado 27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto 7
Figura 2. Estado actual de la vía 7
Figura 3. Ubicación – Estaciones de conteo INVIAS analizadas 9
Figura 4. Tendencia del TPD – Estación Purgatorio-Montería (713) 10
Figura 5. Tendencia del NEE diario – Estación Purgatorio-Montería (713) 11
Figura 6. Tendencia del TPD – Estación Puerto Rey-Montería (906) 12
Figura 7. Tendencia del NEE diario – Estación Puerto Rey-Montería 13
Figura 8. Proyección de población rural de Montería, 2018 – 2023 14
Figura 9. Uso del suelo en la zona de influencia del proyecto 15

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente documento comprende la realización del Estudio Geológico y Geotécnico para el mejoramiento de la vía que une los corregimientos de Jaraquiel (Margen occidental), Martinica y Leticia del municipio de Montería, departamento de Córdoba. El tramo en estudio presenta una longitud de 22 km. En la Figura 1 se presenta la localización del proyecto dentro de su zona de influencia.

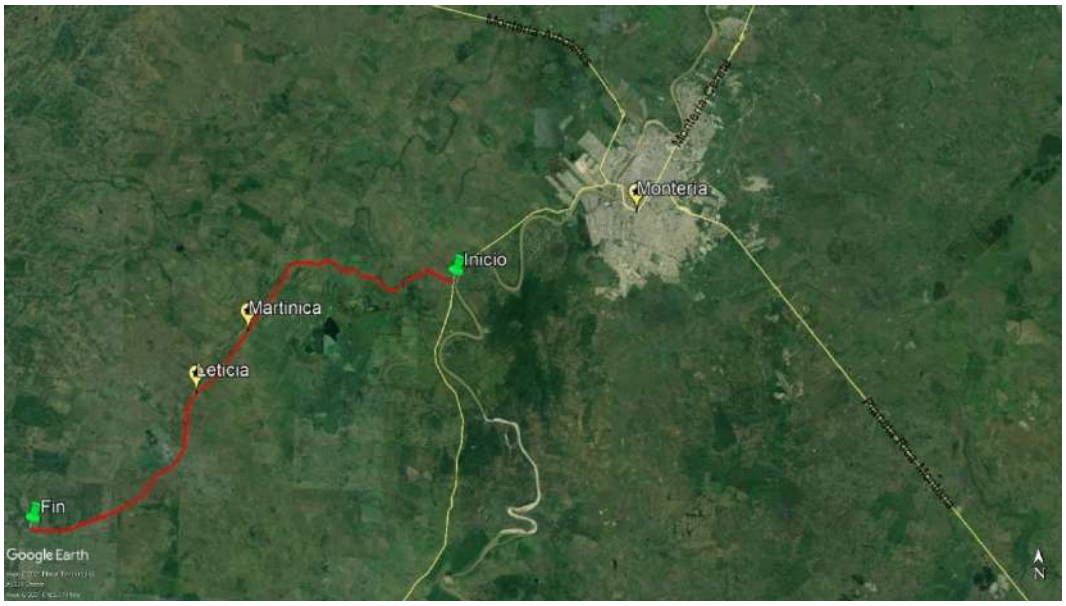


Figura 1. Localización del proyecto

El estado actual de la vía es deficiente, debido a que la rasante se compone de una capa de afirmado de bajo espesor con bajo contenido de finos y altamente susceptible al desgaste por el paso de los vehículos, la cual en temporada de lluvias se vuelve intransitable.



Figura 2. Estado actual de la vía

2. OBJETIVO Y ALCANCES

2.1. Objetivo General

Definir el tipo de proyecto de mejoramiento vial a implementar, para facilitar la adopción de los parámetros de diseño geométrico y proporcionar las bases y parámetros para el diseño estructural del pavimento.

2.2. Alcances

- Cuantificar los flujos de transporte en cada uno de los escenarios y horizontes de planificación para el proyecto.
- Identificar el tránsito normal, atraído y generado, tanto de carga como de pasajeros.
- Obtener el tránsito promedio diario (TPD) actual y futuro.
- Determinar el número acumulado de ejes equivalentes a 8.2 toneladas en el carril de diseño.
- Conocer el estado de la señalización existente.
- Definir el tipo de proyecto de mejoramiento y facilitar la adopción de los parámetros de diseño geométrico.
- Efectuar los estimativos de capacidad y niveles de servicio y examinar su consistencia con la demanda máxima proyectada para el periodo establecido como horizonte del proyecto.

3. INFORMACIÓN SECUNDARIA

En el presente capítulo se presenta la recopilación y el análisis de la información secundaria disponible para el desarrollo del estudio; tal como estudios antecedentes, registro de aforos y contexto socioeconómico de la zona de influencia del proyecto.

3.1. Series históricas del INVIAS

En la vía en estudio no se cuenta con series históricas de aforos vehiculares. Sin embargo, se recopiló la información de las estaciones de conteo del INVIAS ubicada en las vías de acceso a la ciudad de Montería, con el fin de establecer un orden de magnitud del tránsito y las posibles tendencias de crecimiento hacia el futuro. En la *Tabla 1* y la *Figura 3* se presenta la información principal de la estación analizada y su ubicación geográfica.

Tabla 1. Estación de conteo INVIAS analizada

Estación No.	Sector	Código vía	Longitud (km)	Periodo de registro
713	El Purgatorio – Montería	-	6	1997 – 2010
906	Puerto Rey – Montería	-	64	1997 – 2018

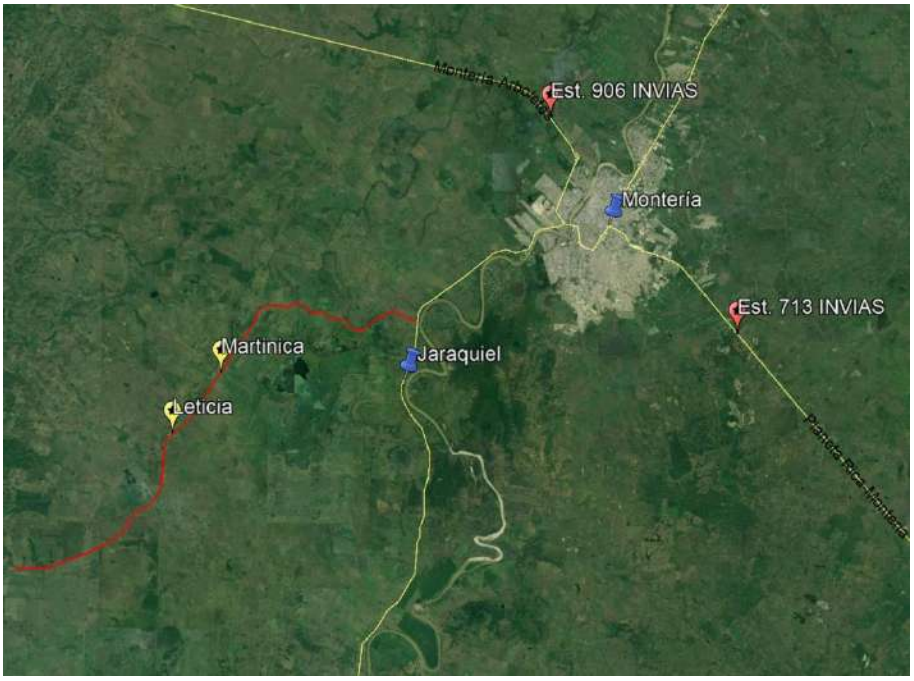


Figura 3. Ubicación – Estaciones de conteo INVIAS analizadas
Tomado de: Google Earth (2021)

A continuación, se presenta el registro de los aforos realizados en las estaciones de conteo, detallando el tránsito promedio diario (TPD) registrado en cada año y la regresión con mayor ajuste a los datos observados.

Tabla 2. Registro de aforos vehiculares – Estación Purgatorio-Montería (713)

Año	TPD	Autos	Buses	Camiones
1997	4351	72	5	23
1998	4989	74	5	21
1999	4379	75	5	20
2000	4227	65	9	26
2001	4100	69	6	25
2002	4427	71	6	23
2003	4993	71	6	23
2004	5895	71	7	22
2005	4730	65	10	25
2006	4995	74	6	20
2007	5287	64	8	28
2008	4354	62	11	27
2009	5039	67	9	24
2010	3005	65	8	27

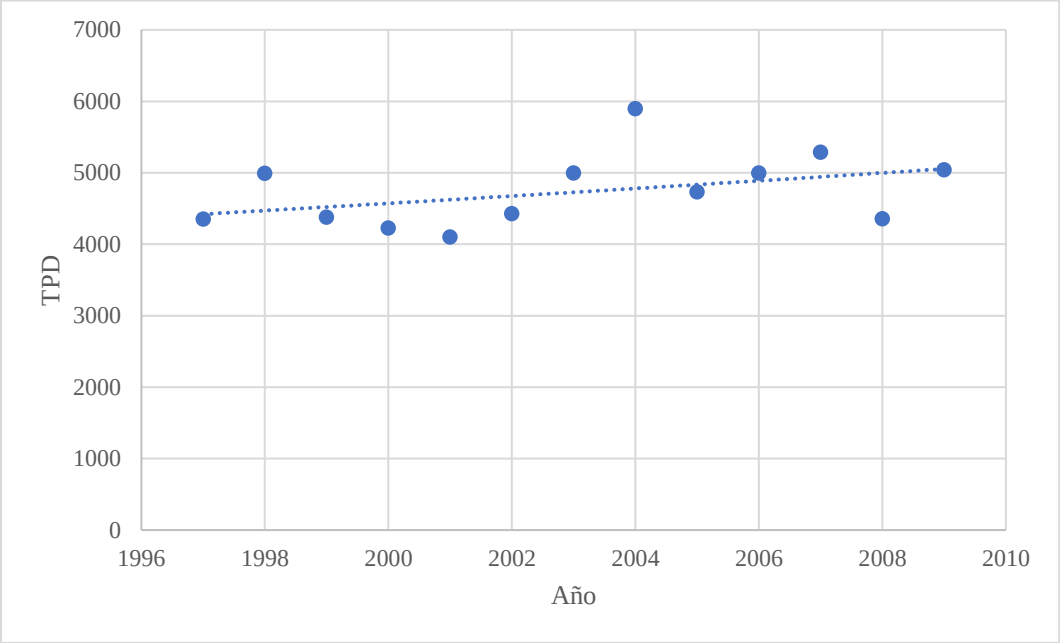


Figura 4. Tendencia del TPD – Estación Purgatorio-Montería (713)

La tasa de crecimiento del tránsito promedio diario en la estación Purgatorio – Montería es del 1.1%, con un coeficiente de determinación R^2=0.17. El número de ejes equivalentes crece exponencialmente bajo una tasa del 1.4%, con un coeficiente de determinación R^2=0.35 y una proyección de 10’486.219 ejes equivalentes durante los próximos 10 años, correspondientes al periodo de diseño de la vía en estudio.

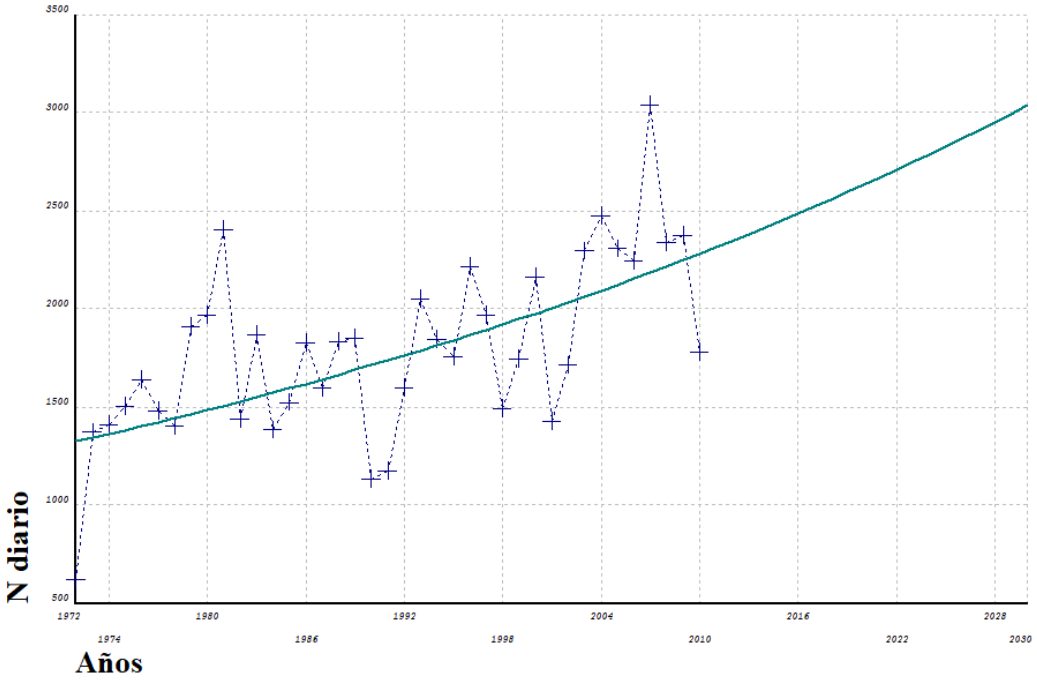


Figura 5. Tendencia del NEE diario – Estación Purgatorio-Montería (713)

Tabla 3. Registro de aforos vehiculares – Estación Puerto Rey-Montería (906)

Año	TPD	Autos	Buses	Camiones
1997	1442	68	8	24
1998	1719	70	8	22
1999	1595	70	7	23
2000	1179	62	10	28
2002	1306	63	9	28
2003	1276	64	9	27
2004	1256	62	11	27
2005	1206	66	11	23
2006	2481	65	11	24
2007	715	58	12	30
2008	1009	61	11	28
2009	1338	64	11	25
2010	2300	58	12	30
2011	1343	60	11	29

Año	TPD	Autos	Buses	Camiones
2012	929	55	9	36
2013	1653	64	10	26
2014	1939	65	9	26
2015	2312	53	14	33
2016	2235	57	6	37
2017	2136	60	5	35
2018	2031	70	9	21

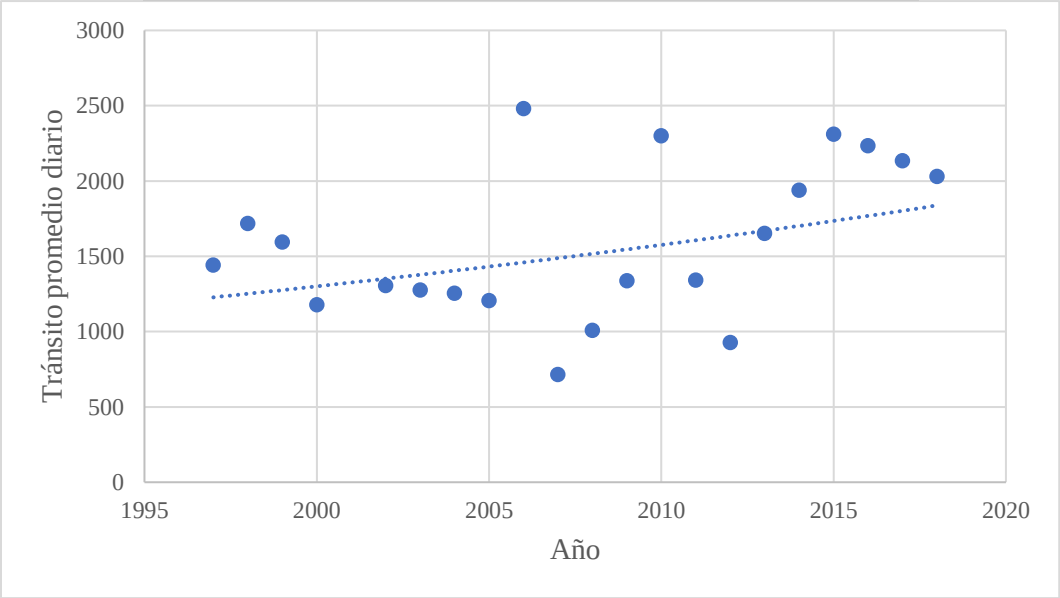


Figura 6. Tendencia del TPD – Estación Puerto Rey-Montería (906)

La tasa de crecimiento del tránsito promedio diario en la estación Puerto Rey – Montería es del 1.9%, con un coeficiente de determinación R^2=0.14. El número de ejes equivalentes crece exponencialmente bajo una tasa del 5.5%, con un coeficiente de determinación R^2=0.77 y una proyección de 5’085.247 ejes equivalentes durante los próximos 10 años, correspondientes al periodo de diseño de la vía en estudio.

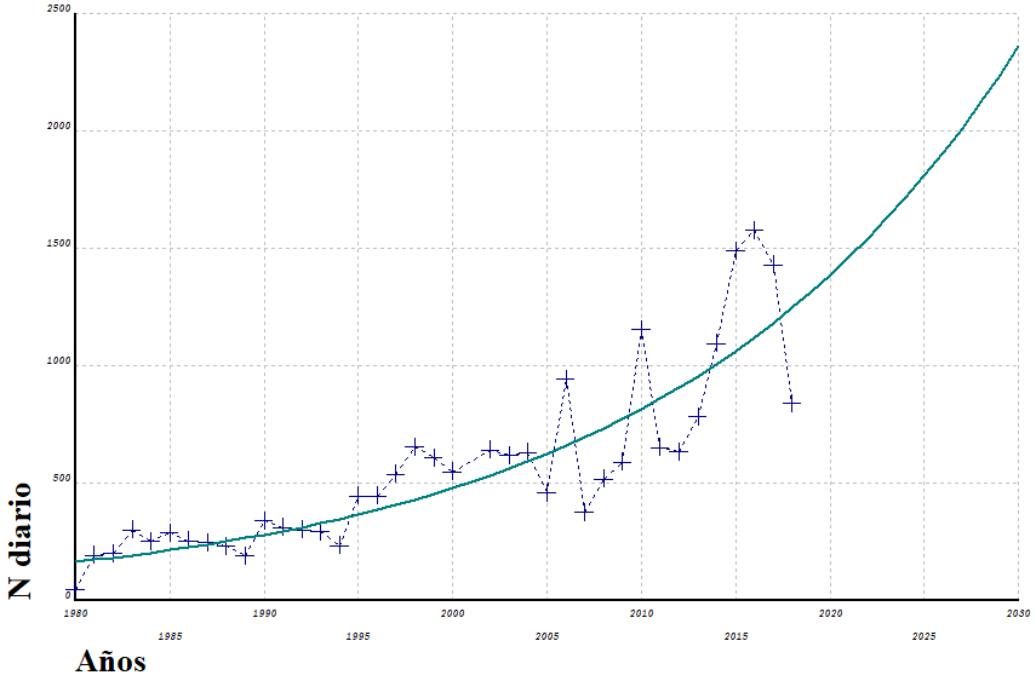


Figura 7. Tendencia del NEE diario – Estación Puerto Rey-Montería

3.2. Contexto socioeconómico

El contexto socioeconómico de la zona de influencia del proyecto es determinante en el potencial de crecimiento del tránsito; e incluye el análisis de la demografía, la actividad económica y el uso del suelo

3.2.1. Demografía

El 78% de la población de Montería (509558 hab.) se concentra en su cabecera municipal, mientras que el resto se distribuye entre 28 corregimientos y 168 veredas que constituyen su zona rural. Para el 2021 se estima una población en la zona de influencia directa del proyecto (Martinica, Leticia y Jaraquiel) de 7700 habitantes. Las proyecciones de población del DANE, en los próximos cinco años, para la zona rural de la ciudad de Montería estiman una tasa de crecimiento del 2.1%, mientras que para la zona urbana se espera un crecimiento alrededor del 0.6% (Figura 8).

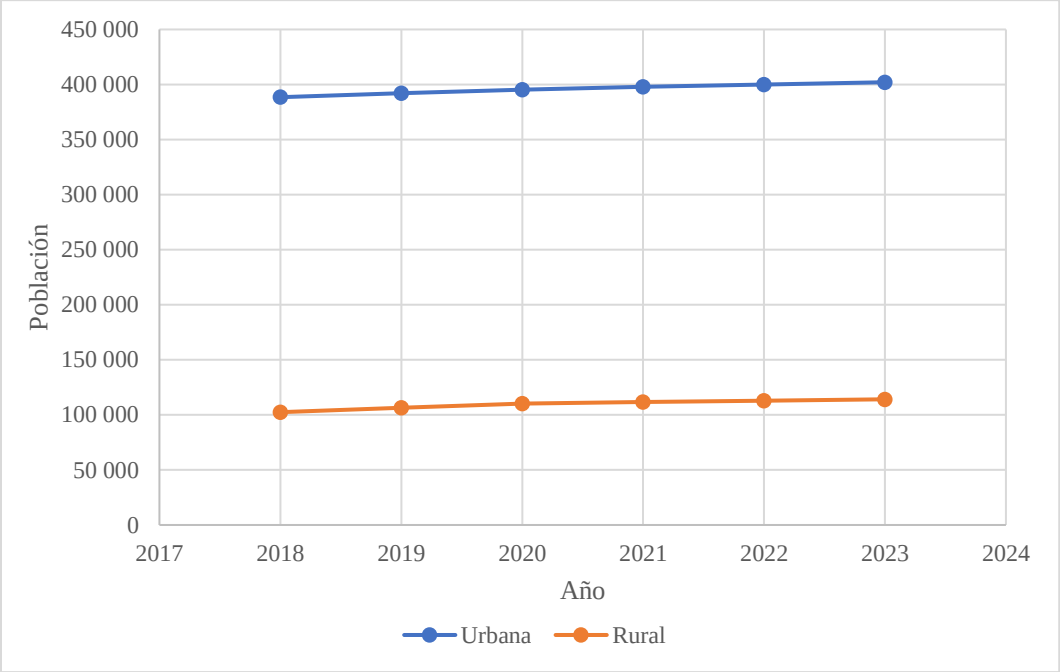


Figura 8. Proyección de población rural de Montería, 2018 – 2023

3.2.2. Economía

De acuerdo con información oficial de la alcaldía, las principales actividades económicas de la ciudad de Montería son la ganadería y la agroindustria, alentada por la fecundidad del valle del Sinú. Las principales razas de ganado que se crían en el valle del Sinú son el Cebú, Pardo suizo, Holstein y Romosinuano. Además, actualmente se ha desarrollado el ganado doble propósito (Carne y leche) mediante el manejo genético y cruce de las razas Holstein, Pardo suizo, Gyr lechero y Simmental. Estos últimos pueden llegar a costar hasta 800 millones de pesos y son subastados en la ciudad de Medellín (Antioquia) en el concurso nacional de ganadería. Montería es reconocida como la capital nacional de ganadería vacuna, trayendo siempre los primeros lugares en las competiciones vacunas a nivel mundial. Por otra parte, la pesca se realiza de manera artesanal y por un grupo pequeño de pescadores familiares a las orillas del río Sinú. Montería es considerada un importante foco para la economía ganadera y agroindustrial de Colombia. Los principales cultivos son el maíz tradicional, maíz tecnificado, algodón, sorgo, arroz secano manual, arroz secano mecanizado, arroz riego, yuca, plátano y ñame.

3.2.3. Uso del suelo

El desarrollo de actividades agropecuarias constituye la vocación principal para el uso del suelo en la ciudad de Montería, cuyo suelo clasifica como de uso rural en un 78% y de uso urbano en apenas un 1%. El proyecto en estudio se ubica en una zona de vocación agrícola

cuyo uso principal son los cultivos transitorios intensivos y semintensivos de clima cálido (ver Figura 9).

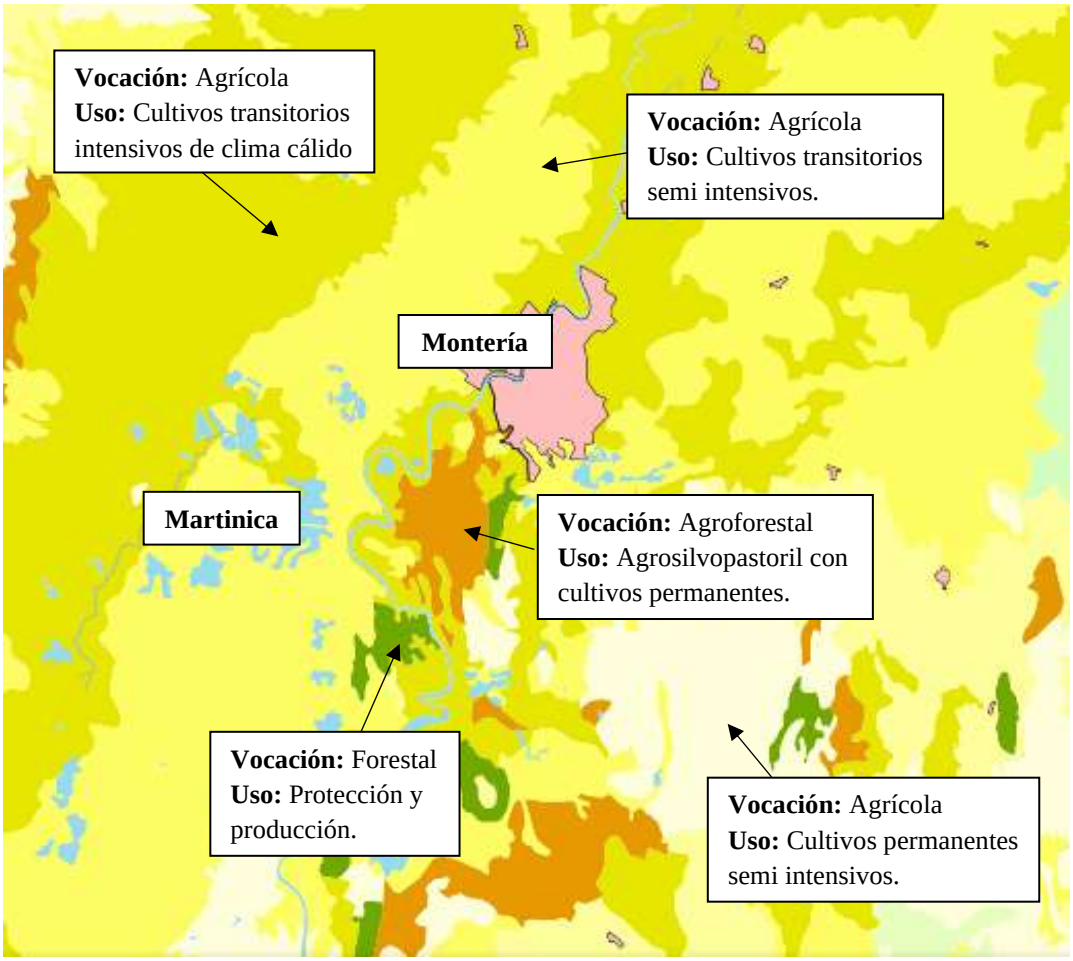


Figura 9. Uso del suelo en la zona de influencia del proyecto

4. ANÁLISIS DE FLUJOS DE TRANSPORTE

En el presente capítulo se presenta el análisis de flujos de transporte, a partir de la estimación del tránsito normal y el tránsito inducido a la vía. De igual forma, se adoptan los criterios para proyectar el tránsito futuro y obtener el número de ejes equivalentes a 8.2 ton como insumo principal del diseño estructural del pavimento.

4.1. Tránsito normal

El tránsito normal es el que se produce en la zona de influencia del proyecto como consecuencia de la evolución previsible de sus parámetros característicos y coincide, por tanto, con el que circulará por la red si no se realizara el proyecto. La estimación de esta componente se realizó a partir de aforos vehiculares, llevados a cabo al inicio del tramo en estudio, en la abscisa K0+000, durante un periodo continuo de 7 días, durante las 24 horas. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resumen de aforos vehiculares vía Montería – Leticia

Día	Motos	Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3
Lunes	108	32	0	30	21	11
Martes	99	35	0	33	15	11
Miércoles	111	30	0	29	19	15
Jueves	115	26	0	25	18	14
Viernes	102	38	0	27	23	16
Sábado	87	31	0	32	18	12
Domingo	55	19	0	18	11	7

La vía presenta un nivel de tránsito bajo, con predominio de motocicletas y camiones de dos ejes para el transporte de productos agrícolas. Los autos registrados corresponden, en su mayoría, a camperos y camionetas que viajan desde las cabeceras municipales hasta las veredas y hacia las fincas ubicadas a los costados de la vía. A partir de los aforos se obtuvo el tránsito promedio semanal y se corrigió para determinar el tránsito promedio anual, mediante la siguiente fórmula:

$$TPDA = TPDS \pm z_c \frac{s}{\sqrt{n}} \left[\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right]$$

Donde:

- z_c: Coeficiente de confianza. Para una distribución normal y un R=90%, z_c=1.64.
- n: Tamaño de la muestra (7 días).
- N: Tamaño de la población (365 días).

s: Desviación estándar de la muestra.

Tabla 5. Cálculo del tránsito promedio diario anual

Día	TD	$(TDi-TPDS)^2$
1	106	36
2	106	36
3	105	25
4	95	25
5	116	256
6	105	25
7	67	1089
TPDS	100	1492
	s	16
	R	90%
	z_r	1.64
	TPDA	**110**

En los aforos vehiculares no se registraron buses debido a que al momento de realizarlos estaban suspendidas las clases presenciales debido a la pandemia del Covid-19, sin embargo, se incluye dentro del tránsito de diseño una cantidad estimada de buses teniendo en cuenta la dinámica de transporte escolar de la zona. El tránsito promedio diario de diseño obtenido para el presente año (2021) se asume igual a 75 vehículos y la distribución vehicular se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6. Distribución vehicular Año 2021

Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3
33	13	31	20	13
30%	12%	18%	11%	7%

4.2. Tránsito atraído

El tránsito atraído a la vía por ocasión de su pavimentación es nulo, debido a que el corredor no se constituye en una ventaja o beneficio significativo para los usuarios que hoy hacen uso de otra infraestructura. Sin embargo, la intervención de esta vía representa el mejoramiento en material conectividad y accesibilidad vial entre la ciudad de Montería y su zona rural, debido a que todo el tramo del proyecto conecta con varios corregimientos y veredas de la ciudad a lo largo de su trayecto.

4.3. Tránsito generado

El tránsito generado es el que se origina por el proyecto mismo, debido a mejores condiciones de oferta; las cuales se dan por el desarrollo del área de influencia. Esta componente del tránsito se determinó como un porcentaje del tránsito normal, incluido intrínsecamente en la tasa de crecimiento. En la Tabla 7 se presenta el porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal propuesto por INVIAS, de acuerdo con el contexto socioeconómico de la zona de estudio.

Tabla 7. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Área con potencial minero alto	Menos de 5000 5000 o más	3.0 6.0
Área con potencial agrícola alto	Menos de 5000 5000 o más	2.5 5.5
Área con potencial turístico alto	Menos de 5000 5000 o más	2.0 3.5
Área de bajo potencial de desarrollo		1.5

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías.

La zona de influencia de la vía presenta un potencial agrícola alto. Por tanto, debido a que se cuenta con una población de impacto mayor a 5000 habitantes, contabilizando los habitantes de todas las veredas de la zona de influencia, se asume un porcentaje de tránsito generado equivalente al 5.5% del tránsito normal.

4.4. Proyección de tránsito futuro

El tránsito futuro se estimó considerando una tendencia exponencial y una tasa de crecimiento promedio que toma en cuenta el efecto de la variación del PIB del sector transporte, los pasajeros nacionales movilizados por vía terrestre, la magnitud de la carga terrestre movilizada, el tránsito de vehículos, el tránsito registrado en las estaciones de conteo INVIAS en la zona de influencia del proyecto y el crecimiento demográfico.

4.4.1. PIB sector transporte

El Producto Interno Bruto (PIB) es un indicador económico que representa el valor monetario de los bienes y servicios producidos durante cierto periodo de tiempo en el país. En la Tabla 8 se presenta el PIB producido por el sector transporte en Colombia, expresado en miles de millones de pesos y su tasa de variación anual.

Tabla 8. Tasa de variación del PIB sector transporte

Año	PIB Transporte	Variación
2002	12 365	-

Año	PIB Transporte	Variación
2003	13 009	5.2%
2004	13 934	7.1%
2005	14 834	6.5%
2006	15 757	6.2%
2007	16 846	6.9%
2008	17 262	2.5%
2009	17 042	-1.3%
2010	17 993	5.6%
2011	19 244	7.0%
2012	19 923	3.5%
2013	20 455	2.7%
2014	21 288	4.1%
2015	22 088	3.8%
2016	22 391	1.4%
2017	22 468	0.3%
Tasa de variación promedio		**4.1%**

4.4.2. Pasajeros nacionales movilizados por vía terrestre

El aumento en la demanda de pasajeros que requieren movilizarse por vía terrestre implica, de igual forma, un aumento en la oferta de buses y vehículos de transporte, reflejado directamente en un crecimiento de la variable de tránsito. En la Tabla 9 se presenta el número de pasajeros movilizados en Colombia entre los años 2002 y 2018 y su tasa de variación anual.

Tabla 9. Tasa de variación de pasajeros movilizados por vía terrestre

Año	Pasajeros	Variación
2002	99 570 498	-
2003	120 201 516	20.7%
2004	128 893 186	7.2%
2005	156 568 326	21.5%
2006	164 118 093	4.8%
2007	172 127 092	4.9%
2008	168 021 219	-2.4%
2009	177 855 357	5.9%
2010	175 260 455	-1.5%
2011	184 958 703	5.5%
2012	170 404 280	-7.9%

Año	Pasajeros	Variación
2013	179 915 072	5.6%
2014	187 896 491	4.4%
2015	188 836 000	0.5%
2016	189 953 909	0.6%
2017	128 337 252	-32.4%
2018	137 184 263	6.9%
Tasa de variación promedio		**2.8%**

4.4.3. Carga terrestre movilizada

El aumento en la demanda del servicio de carga movilizada por vía terrestre implica, de igual forma, un aumento en la oferta de camiones de carga, lo cual se refleja directamente en un crecimiento de la variable de tránsito. En la Tabla 10 se presenta la carga en miles de toneladas movilizada por vía terrestre en Colombia entre los años 2002 y 2018 y su tasa de variación anual.

Tabla 10. Tasa de variación de carga terrestre movilizada

Año	Carga terrestre	Variación
2002	84 019	-
2003	99 782	18.8%
2004	117 597	17.9%
2005	139 646	18.7%
2006	155 196	11.1%
2007	183 126	18.0%
2008	169 714	-7.3%
2009	173 558	2.3%
2010	181 021	4.3%
2011	191 701	5.9%
2012	199 369	4.0%
2013	220 309	10.5%
2014	232 480	5.5%
2015	235 112	1.1%
2016	234 451	-0.3%
2017	233 964	-0.2%
2018	243 171	3.9%
Tasa de variación promedio		**7.1%**

4.4.4. Tránsito de vehículos

El volumen de vehículos en circulación por las vías nacionales es una medida directa del crecimiento del tránsito. En la Tabla 11 se presentan los millones de vehículos por kilómetro por año que transitan en Colombia.

Tabla 11. Tasa de variación de tránsito de vehículos

Año	Veh-km/año	Variación
2002	14 024	-
2003	13 331	-4.9%
2004	15 307	14.8%
2005	15 842	3.5%
2006	18 192	14.8%
2007	17 598	-3.3%
2008	18 039	2.5%
2009	15 513	-14.0%
2010	17 987	15.9%
2011	19 375	7.7%
2012	19 745	1.9%
2013	21 682	9.8%
2014	22 768	5.0%
2015	23 749	4.3%
2016	21 485	-9.5%
2017	25 332	17.9%
Tasa de variación promedio		4.4%

4.4.5. Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento para el proyecto fue calculada como el promedio de las tasas obtenidas a partir de las series socioeconómicas presentadas anteriormente. En la Tabla 12 se presenta el cálculo, considerando los seis factores principales analizados.

Tabla 12. Cálculo de la tasa de crecimiento

Serie	Tasa de variación
PIB Sector Transporte	4.1%
Pasajeros movilizados por vía terrestre	2.8%
Carga terrestre movilizada	7.1%
Tránsito de vehículos	4.4%

Estaciones de conteo INVIAS	3.5%
Crecimiento demográfico	2.1%
Tasa de crecimiento promedio	**4.0%**

4.5. Número de ejes equivalentes de 8.2 ton en el periodo de diseño

El número de ejes equivalentes de 8.2 ton que pasarán por la vía durante el periodo de diseño es una de las variables principales para el diseño estructural del pavimento, y su cuantificación depende de la proyección del tránsito futuro y de la distribución vehicular determinada en el presente estudio. Para la vía Montería – Leticia se asumió un periodo de diseño de 10 años de acuerdo con el criterio propuesto por INVIAS.

Tabla 13. Periodo de diseño de la vía, según su geometría y TPD - INVIAS

Vías de dos carriles y dos sentidos		Vías de dos calzadas					
		Dos carriles por sentido		Tres carriles por sentido		Más de tres carriles por sentido	
TPD < 5000	TPD > 5000	TPD < 7000	TPD > 7000	TPD<15000	TPD > 15000	TPD < 25000	TPD > 25000
10	15	10	15	15	20	15	20

Para convertir los vehículos que constituyen el tránsito a ejes equivalentes se utilizó el método empírico, el cual se basa en un factor de daño que representa a equivalencia entre cada tipo de vehículo y cierto número de ejes equivalentes de 8.2 ton. Los factores de daño utilizados en el cálculo se presentan a continuación:

Tabla 14. Factor de daño por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Factor daño	Carga máxima (ton)
Liviano (<5 ton)	0.00	-
Buseta	0.05	16
Bus	0.40	17
Bus metropolitano	1.00	17
Bus alimentador	2.51	20
C2 – P	1.14	16
C2 – G	2.15	17
C3	3.15	28
C2 – S1	3.13	27
C4	6.73	34
C3 – S1	2.33	39
C2 – S2	2.27	39
C3 – S2	4.21	50

Tipo de vehículo	Factor daño	Carga máxima (ton)
C3 – S3	5.31	52

El número de ejes equivalentes para el año inicial del periodo de diseño se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$N_i = N_{diario} \cdot DD \cdot DC \cdot 365$$

Donde:

N_i: Número de ejes de referencia (8.2 ton o 13 ton) durante el año inicial.

N_{diario}: Número de ejes de referencia (8.2 ton o 13 ton) promedio diario.

DD: Distribución direccional del tránsito de vehículos comerciales.

DC: Proporción de los vehículos comerciales que utilizan el carril de diseño.

En la Tabla 15 se presenta el cálculo del número de ejes equivalentes durante el periodo de diseño, considerando todas las variables analizadas anteriormente y corregido a un nivel de confiabilidad del 90%.

Tabla 15. Cálculo del número de ejes equivalentes de diseño

Tipo de vehículo	%	TPD	Factor de daño	Ni
Auto	30.2%	35	0.00	0.0
Bus	12.1%	14	0.40	5.6
C2-P	27.6%	32	1.14	36.5
C2-G	18.1%	21	2.15	45.2
C3	12.1%	14	3.15	44.1
Promedio diario de ejes equivalentes				131.3
Factor de distribución direccional				55%
Factor de distribución por carril				100%
Número de ejes equivalentes año inicial				26364
Tasa de crecimiento del tránsito				4.2%
Periodo de diseño (años)				10
Número de ejes equivalentes sin corregir				325481
Confiabilidad				90%
Número de ejes equivalentes de diseño				**377247**

5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

En el presente capítulo se presenta el análisis de capacidad y nivel de servicio de la vía en un horizonte de tiempo que permita verificar las características geométricas óptimas del proyecto, en forma tal que atienda un volumen de tránsito correspondiente al nivel de servicio establecido.

5.1. Nivel de servicio

El nivel de servicio describe de forma cualitativa las condiciones en las que opera el tránsito de una vía, en cuanto a velocidad, tiempo de viaje, confort, interrupciones y libertad de maniobra. El volumen vehicular para los análisis de capacidad y niveles de servicio se determinó mediante el método de los factores de equivalencia vehicular, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 16. Volumen vehicular para estimación de capacidad y niveles de servicio

	FEV	2021	2031	2041
Motos	0.5	51	75	111
Autos	1	35	52	77
Buses	2	28	41	61
C2-P	2.5	80	118	175
C2-G	2.5	53	78	115
C3	2.5	35	52	77
Volumen vehicular		282	416	616
% camiones		60%	60%	60%

El nivel de servicio se determinó utilizando la metodología establecida en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), el cual establece seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F.

Tabla 17. Niveles de servicio según HCM 2010

Nivel de servicio	Descripción
A	Operaciones con flujo libre, conductor con elevado nivel de confort físico y psíquico. En caso de pequeños incidentes o interrupciones, si bien se produce un deterioro local del nivel de servicio, no se forman colas y rápidamente se vuelve al nivel A una vez finalizada la alteración.
B	Condiciones razonables de flujo libre, conductor con elevado nivel de confort físico y psíquico. Las maniobras dentro del flujo de tránsito se pueden realizar con pocas restricciones. Los pequeños incidentes se absorben rápidamente

	con un deterioro del nivel de servicio posiblemente mayor que en el caso del nivel A.
C	Proporciona operaciones estables, pero el volumen se aproxima al rango en el cual pequeños incrementos de volumen producen una importante reducción en el nivel de servicio. Existen restricciones significativas en las maniobras, y el cambio de carril requiere un cuidado adicional por parte del conductor. Se absorben las pequeñas interferencias, pero con gran deterioro local del nivel de servicio. Si la interrupción es mayor podrían formarse colas.
D	Este nivel limita con el flujo inestable. En este rango, pequeños incrementos de volumen provocan importantes deterioros en el servicio. Existe una limitación severa en la posibilidad de maniobrar, y se reduce drásticamente el nivel de confort físico y psíquico del conductor. La corriente de tránsito posee poco espacio para absorber interrupciones y por este motivo aún los pequeños incidentes provocarán formaciones de colas.
E	El límite entre el nivel E y F corresponde a la operación en capacidad total. Las operaciones son muy inestables ya que prácticamente no hay espacios libres en la corriente. Los vehículos están separados con la mínima distancia para la cual se puede desarrollar un flujo estable. Cuando se da lugar a cualquier vehículo que entra o cambia de carril, la interferencia se propaga corriente arriba. En la capacidad no se pueden disipar ni aún las más pequeñas interferencias. Cualquier incidente produce una detención importante y la formación de cola. La maniobrabilidad está limitada substancialmente, y el conductor posee un nivel de confort reducido.
F	Corresponde a flujo forzado o interrumpido. Estas condiciones generalmente existen dentro de las colas formadas por interrupciones. Es de hacer notar que en todos los casos la detención se produce cuando la relación del tránsito que realmente supera la capacidad existente.

A continuación, se presentan los parámetros requeridos para la aplicación de la metodología del HCM – 2010.

Tabla 18. Parámetros de diseño – Metodología HCM 2010

Datos geométricos	
Clase de vía	II
Ancho de carril	3.00 m
Ancho de berma	0.50 m
Puntos de acceso	3/km
Tipo de terreno	Plano

Zonas de no adelantamiento	20%
Velocidad límite	50 km/h
Velocidad base de diseño	63 km/h
Longitud de carril de adelantamiento	N/A
Datos de demanda	
Volumen vehicular horario (2030)	416
Periodo de análisis	15 min
Factor de hora pico	0.88
División direccional	60/40
Porcentaje de vehículos pesados	60%
Porcentaje de zonas de parqueo	0%

5.1.1. Velocidad a flujo libre

La velocidad a flujo libre corresponde a la máxima a la que puede transitar un usuario por la vía en caso de no compartirla con otros vehículos, y considerando el efecto de la geometría vial y de sus puntos de acceso. Debido a la imposibilidad de medir en campo la velocidad de marcha en condición pavimentada se utilizó la siguiente fórmula, propuesta por el HCM 2010:

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

Donde:

FFS: Velocidad a flujo libre, en km/h.
BFFS: Velocidad base a flujo libre, en km/h.
f_{LS}: Factor de ajuste por ancho de carril y de berma, en km/h.
f_{LA}: Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso, en km/h.

Considerando una velocidad base a flujo libre de 63 km/h, un factor de ajuste por ancho de carril y de berma de 6 km/h y un factor de ajuste por densidad de puntos de acceso de 1 km/h, se obtiene una velocidad a flujo libre de 56 km/h.

5.1.2. Volumen vehicular

El volumen vehicular debe corregirse teniendo en cuenta la proporción de vehículos pesados que se espera que pasen por la vía, las condiciones topográficas y la equivalencia entre tipos de vehículos. Para esto se presenta la siguiente formulación propuesta por la HCM 2010.

$$v_{i,PTSF} = \frac{V_i}{PHF \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}}$$

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

Donde:

V_i: Volumen vehicular por sentido, veh/h.
PHF: Factor de ajuste por variación horaria.
$f_{g,PTSF}$: Factor de ajuste para determinación de PTFS.
P_T: Porcentaje de camiones.
P_R: Porcentaje de vehículos particulares.
E_T: Factor de equivalencia de camiones.
E_R: Factor de equivalencia de vehículos particulares.

Tabla 19. Cálculo del volumen vehicular ajustado

V_i	40	Factor direccional de 0.55
PHF	1	Conteo en hora pico
$f_{g,PTSF}$	1	Terreno plano
P_T	0.44	
P_R	0.56	
E_T	1.1	<100 veh/h y terreno plano
E_R	1.0	Terreno plano
$f_{HV,PTSF}$	0.96	
$\boldsymbol{v_{i,PTSF}}$	**42**	

5.1.3. Velocidad promedio

La velocidad promedio de marcha para la dirección de análisis se obtuvo con base en la siguiente ecuación propuesta por el HCM (2010).

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

Donde:

$v_{d,ATS}$: Volumen vehicular en la dirección de análisis, en autos/hora/carril
$v_{d,ATS}$: Volumen vehicular en la dirección opuesta, en autos/hora/carril
$f_{np,ATS}$: Factor de ajuste por % de zonas de no adelantamiento.

Considerando los volúmenes vehiculares durante el periodo crítico de análisis y el factor de ajuste para un 20% de zonas de no adelantamiento, se obtiene un valor de ATS_d=20 km/h. Finalmente, se calcula el porcentaje de la velocidad promedio de marcha respecto a la velocidad a flujo libre, así:

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

Para los valores calculados se obtiene un PFFS del 35.7% en el año 2030, que corresponde a un nivel de servicio **A**, el cual demuestra que la geometría propuesta para la vía garantiza el máximo nivel de servicio durante el periodo de diseño.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El estado actual de la vía Jaraquiel – Martinica – Leticia es deficiente, debido al mal estado de la estructura de pavimento, al ancho insuficiente de vía y a la ausencia de adecuada señalización. El corredor, por lo tanto, amerita un mejoramiento geométrico y estructural para garantizar la seguridad y el nivel de servicio.
- El tránsito promedio diario normal, considerando la influencia de las motocicletas mediante factores de equivalencia vehicular, es de 282 vehículos para el año 2021.
- El tránsito generado se asumió como el 5.5% del tránsito normal, como lo indica el Manual de Diseño de Pavimentos de INVIAS, teniendo en cuenta que la zona de influencia de la vía presenta un alto potencial agrícola y una población de impacto mayor a 5000 habitantes.
- La tasa de crecimiento del tránsito asumida para el proyecto es del 4.0%, considerando el efecto de la variación del PIB del sector transporte, los pasajeros nacionales movilizados por vía terrestre, la magnitud de la carga terrestre movilizada, el tránsito de vehículos, el tránsito registrado en las estaciones de conteo INVIAS en la zona de influencia del proyecto y el crecimiento demográfico.
- El número de ejes equivalentes de 8.2 ton para un periodo de diseño de 10 años en un pavimento flexible, ajustado a un nivel de confiabilidad del 90%, es de **377247** ejes.
- Se recomienda que la configuración de la vía sea bidireccional de dos carriles, con un ancho de carril de 3.0 m y bermas de 0.5 m de ancho, para un ancho total de 7.0 m.
- El nivel de servicio que brindará la vía con la geometría y el tránsito proyectado, durante su periodo de vida útil será tipo **A**, el cual equivale a un elevado nivel de confort físico y psíquico para los usuarios.

ANEXO A:
REGISTRO DE AFOROS VEHICULARES

Fecha:	Lunes 15 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	0	0	0	0	0
2:00	3:00	0	0	0	0	0	0
3:00	4:00	0	0	0	0	0	0
4:00	5:00	3	1	0	0	0	0
5:00	6:00	5	2	0	3	2	1
6:00	7:00	12	5	0	2	2	1
7:00	8:00	9	7	0	4	4	2
8:00	9:00	8	3	0	7	5	3
9:00	10:00	8	2	0	2	1	0
10:00	11:00	7	2	0	2	1	0
11:00	12:00	8	1	0	3	2	1
12:00	13:00	10	3	0	1	0	0
13:00	14:00	10	3	0	1	0	0
14:00	15:00	7	1	0	2	2	1
15:00	16:00	5	1	0	1	1	0
16:00	17:00	5	1	0	1	1	1
17:00	18:00	3	2	0	1	0	1
18:00	19:00	5	1	0	0	0	0
19:00	20:00	1	0	0	0	0	0
20:00	21:00	1	0	0	0	0	0
21:00	22:00	1	0	0	0	0	0
22:00	23:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0:00	0	0	0	0	0	0
Fecha:	Martes 16 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	0	0	0	0	0
2:00	3:00	0	0	0	0	0	0
3:00	4:00	1	0	0	0	0	0
4:00	5:00	2	1	0	0	0	0
5:00	6:00	4	2	0	2	1	2
6:00	7:00	10	4	0	2	1	0
7:00	8:00	9	6	0	3	2	1
8:00	9:00	7	4	0	2	1	1
9:00	10:00	7	1	0	3	2	1

10:00	11:00	6	2	0	3	2	2
Fecha:	Martes 16 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
11:00	12:00	8	1	0	4	1	0
12:00	13:00	9	3	0	2	1	0
13:00	14:00	9	3	0	2	1	2
14:00	15:00	7	2	0	3	2	0
15:00	16:00	6	1	0	3	1	0
16:00	17:00	4	2	0	2	0	1
17:00	18:00	3	2	0	2	0	1
18:00	19:00	4	1	0	0	0	0
19:00	20:00	1	0	0	0	0	0
20:00	21:00	1	0	0	0	0	0
21:00	22:00	0	0	0	0	0	0
22:00	23:00	1	0	0	0	0	0
23:00	0:00	0	0	0	0	0	0
Fecha:	Miércoles 17 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	0	0	0	0	0
2:00	3:00	0	0	0	0	0	0
3:00	4:00	1	0	0	0	0	0
4:00	5:00	4	1	0	0	0	0
5:00	6:00	4	2	0	2	1	1
6:00	7:00	11	4	0	3	2	1
7:00	8:00	9	5	0	3	3	3
8:00	9:00	7	3	0	1	1	1
9:00	10:00	9	1	0	4	3	2
10:00	11:00	8	2	0	5	2	2
11:00	12:00	8	1	0	3	2	1
12:00	13:00	11	2	0	1	1	1
13:00	14:00	9	1	0	1	1	0
14:00	15:00	8	1	0	1	0	0
15:00	16:00	4	1	0	3	2	2
16:00	17:00	5	1	0	2	1	1
17:00	18:00	4	4	0	0	0	0
18:00	19:00	5	1	0	0	0	0
19:00	20:00	1	0	0	0	0	0
20:00	21:00	1	0	0	0	0	0

21:00	22:00	1	0	0	0	0	0
Fecha:	Miércoles 17 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
22:00	23:00	1	0	0	0	0	0
23:00	0:00	0	0	0	0	0	0
Fecha:	Jueves 18 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	0	0	0	0	0
2:00	3:00	1	0	0	0	0	0
3:00	4:00	1	0	0	0	0	0
4:00	5:00	3	1	0	0	0	0
5:00	6:00	3	2	0	1	1	0
6:00	7:00	14	3	0	3	2	2
7:00	8:00	10	5	0	2	2	2
8:00	9:00	8	2	0	3	3	2
9:00	10:00	8	1	0	2	1	1
10:00	11:00	7	2	0	2	1	1
11:00	12:00	7	1	0	2	1	0
12:00	13:00	12	1	0	1	1	0
13:00	14:00	10	1	0	1	0	0
14:00	15:00	9	1	0	2	2	2
15:00	16:00	4	1	0	3	3	3
16:00	17:00	5	1	0	2	1	0
17:00	18:00	4	2	0	1	0	1
18:00	19:00	4	1	0	0	0	0
19:00	20:00	1	0	0	0	0	0
20:00	21:00	2	0	0	0	0	0
21:00	22:00	1	1	0	0	0	0
22:00	23:00	1	0	0	0	0	0
23:00	0:00	0	0	0	0	0	0
Fecha:	Viernes 19 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	1	0	0	0	0
2:00	3:00	1	0	0	0	0	0
3:00	4:00	0	0	0	0	0	0
4:00	5:00	3	2	0	0	0	0
5:00	6:00	4	2	0	2	2	1

6:00	7:00	10	5	0	2	1	1
Fecha:	Viernes 19 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
7:00	8:00	9	8	0	3	3	3
8:00	9:00	7	4	0	3	3	3
9:00	10:00	5	1	0	2	2	1
10:00	11:00	7	2	0	3	3	2
11:00	12:00	9	1	0	2	2	1
12:00	13:00	10	1	0	5	3	1
13:00	14:00	9	1	0	2	2	1
14:00	15:00	8	1	0	1	1	1
15:00	16:00	7	2	0	1	1	1
16:00	17:00	3	1	0	1	0	0
17:00	18:00	3	2	0	0	0	0
18:00	19:00	3	3	0	0	0	0
19:00	20:00	2	1	0	0	0	0
20:00	21:00	0	0	0	0	0	0
21:00	22:00	2	0	0	0	0	0
22:00	23:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0:00	0	0	0	0	0	0
Fecha:	Sábado 20 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	0	0	0	0	0
2:00	3:00	0	0	0	0	0	0
3:00	4:00	0	1	0	0	0	0
4:00	5:00	1	1	0	0	0	0
5:00	6:00	2	2	0	1	0	0
6:00	7:00	8	4	0	2	1	0
7:00	8:00	7	6	0	2	2	1
8:00	9:00	7	3	0	5	2	2
9:00	10:00	6	1	0	3	2	1
10:00	11:00	6	2	0	1	1	1
11:00	12:00	9	1	0	3	3	3
12:00	13:00	8	1	0	2	1	0
13:00	14:00	7	1	0	2	1	0
14:00	15:00	7	1	0	3	2	2
15:00	16:00	5	1	0	3	2	2
16:00	17:00	5	1	0	3	1	0

17:00	18:00	3	2	0	2	0	0
Fecha:	Sábado 20 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
18:00	19:00	2	2	0	0	0	0
19:00	20:00	1	0	0	0	0	0
20:00	21:00	2	1	0	0	0	0
21:00	22:00	1	0	0	0	0	0
22:00	23:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0:00	0	0	0	0	0	0
Fecha:	Domingo 21 de marzo de 2021						
Hora inicio	**Hora fin**	**Motos**	**Autos**	**Buses**	**C2-P**	**C2-G**	**C3**
0:00	1:00	0	0	0	0	0	0
1:00	2:00	0	0	0	0	0	0
2:00	3:00	0	0	0	0	0	0
3:00	4:00	0	0	0	0	0	0
4:00	5:00	2	0	0	0	0	0
5:00	6:00	1	1	0	0	0	0
6:00	7:00	5	1	0	0	0	0
7:00	8:00	5	3	0	1	0	0
8:00	9:00	4	2	0	2	1	0
9:00	10:00	4	2	0	2	2	2
10:00	11:00	3	1	0	3	3	2
11:00	12:00	3	1	0	3	2	1
12:00	13:00	2	1	0	2	1	0
13:00	14:00	5	1	0	2	1	0
14:00	15:00	5	1	0	2	1	2
15:00	16:00	3	2	0	1	0	0
16:00	17:00	4	2	0	0	0	0
17:00	18:00	3	0	0	0	0	0
18:00	19:00	2	0	0	0	0	0
19:00	20:00	2	0	0	0	0	0
20:00	21:00	1	0	0	0	0	0
21:00	22:00	0	0	0	0	0	0
22:00	23:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0:00	1	1	0	0	0	0