PABLO CASTILLA NEGRETE

Estudios Geotécnicos y Ambientales

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

ESTUDIO DE TRÁNSITO LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA



I.C. PABLO CASTILLA NEGRETE.

Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones.

Especialista en ingeniería ambiental.

Especialista en Prevención, atención y reducción de desastres.

Especialista en gerencia para ingenieros.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN. 7
2. OBJETIVOS Y ALCANCES. 8
2.1. Objetivo. 8
2.2. Alcances. 8
3. GENERALIDADES. 9
3.1. Generalidades del municipio. 9
3.2. Geología. 10
3.3. Geomorfología. 13
3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico. 14
3.5. Clima. 14
3.6. Vegetación. 17
4. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO. 18
4.1. Aforo vehicular. 19
4.2. Tránsito promedio diario. 20
4.2.1. Composición vehicular. 20
4.2.2. Variación horaria del volumen de tránsito. 21
4.2.3. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda. 22
4.3. Proyección del tránsito. 23
4.4. Factores de distribución. 24
4.5. Tasa de crecimiento anual del tránsito. 24
4.6. Periodo de diseño. 24
4.7. Cálculo del número de repeticiones esperadas y ejes equivalentes a 8.2 t en el año base. 25
4.7.1. Repeticiones esperadas. 25
4.7.2. Ejes equivalentes a 8.2 t en el año base. 26
4.8. Descripción de las condiciones actuales. 30
5. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA CALCULAR CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO. 31
5.1. Tipos de análisis y pasos requeridos en la aplicación. 31
5.1.1. Pasos a seguir para un análisis de operación. 32
5.2. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información para usar el manual. 33
5.2.1. Proceso de sectorización 33
5.2.2. Definición del tipo de aplicación 34
5.2.3. Tramos genéricos 34
5.2.4. Rampas de ascenso y descenso 35
5.3. Información necesaria para usar el manual. 35
5.3.1. Variables relacionadas con la geometría 35
5.3.2. Variables relacionadas con el tránsito 36
5.3.3. Volumen de tránsito mixto y factor de hora pico (FHP) 36
5.3.4. Información relacionada con los camiones. 36

5.4. Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis. 36
5.4.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL). 36
5.4.2. Medición en campo de VL. 37
5.4.3. Estimación de VL. 37
5.4.4. Elección de la curva maestra de referencia 41
5.5. Paso 3: cálculo del flujo vehicular 42
5.5.1. Corrección del volumen. 42
5.5.2. Equivalente de camiones. 43
5.5.3. Tipo de terreno genérico. 43
5.5.4. Rampa en ascenso. 44
5.5.5. Consideraciones para análisis de planeación. 48
5.6. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis (V). 48
5.7. Paso 5: cálculo de la densidad. 48
5.8. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio. 48
5.9. Paso 7: cálculo del número de carriles (planeación). 49
5.10. Datos de entrada. 50
5.10.1. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para aplicar el manual. 50
5.10.1.1. Proceso de sectorización. 50
5.10.1.2. Definición del tipo de aplicación. 50
5.10.1.3. Preparación de información necesaria para el manual. 50
5.10.2. Paso 2: determinación de la curva flujo–velocidad característica del sector de análisis. 51
5.10.2.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL). 51
5.10.2.2. Selección de la curva maestra de referencia. 52
5.10.3. Paso 3: Cálculo del flujo vehicular. 52
5.10.4. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis. .. 53
5.10.5. Paso 5: cálculo de la densidad. 53
5.10.6. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio. 53
6. CONCLUSIONES. 53
7. BIBLIOGRAFÍA. 54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto en el municipio. 7
Figura 2. Localización del proyecto en la vereda. 8
Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. 9
Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba. 10
Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba. 11
Figura 6. Mapa geológico del proyecto en el corregimiento. 12
Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales. 12
Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba. 13
Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba. 14
Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba. 15
Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba. 16
Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba. 17
Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba. 18
Figura 14. Localización del aforo realizado para el proyecto. 19
Figura 15. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano. 30
Figura 16. Clasificación vial del proyecto. 30
Figura 17. Curvas flujo-velocidad maestras para Colombia. 42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos de vías a construir. 8

Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería. 17

Tabla 3. Valor obtenido de TPDs en el aforo. 20

Tabla 4. Composición vehicular. 21

Tabla 5. Transito inicial. 24

Tabla 6. Repeticiones esperadas. 26

Tabla 7. Repeticiones esperadas. 26

Tabla 8. Factores de equivalencia para pavimentos de concreto. 28

Tabla 9. Número de ejes equivalentes a 8.2 t. 29

Tabla 10. Número de ejes equivalentes a 8.2 t. 29

Tabla 11. Tipos de análisis incluidos en el manual. 32

Tabla 12. Clasificación de las carreteras multicarril según sus características geométricas. 38

Tabla 13. Velocidad genérica por tipo de carretera. 39

Tabla 14. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (fc). 39

Tabla 15. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). 40

Tabla 16. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). 40

Tabla 17. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (fA). 41

Tabla 18. Coeficientes de las ecuaciones flujo -velocidad. Carreteras multicarril Colombia. 42

Tabla 19. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico. 43

Tabla 20. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes. 45

Tabla 21. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.....47

Tabla 22. Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia.....48

Tabla 23. Tasas de flujo máximas por Nivel de Servicio (TFMi).....49

Tabla 24. Información de geometría.....51

Tabla 25. Información de geometría.....51

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Composición vehicular. 21

Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito. 22

Gráfica 3. Intensidad del flujo en la hora pico. 23

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

ESTUDIO DE TRANSITO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con la solicitud presentada por el MUNICIPIO DE MONTERÍA, se realizó el estudio de tránsito para la construcción de pavimento en concreto hidráulico en los barrios San Francisco y Robles del Norte en el municipio de Montería - departamento de Córdoba.

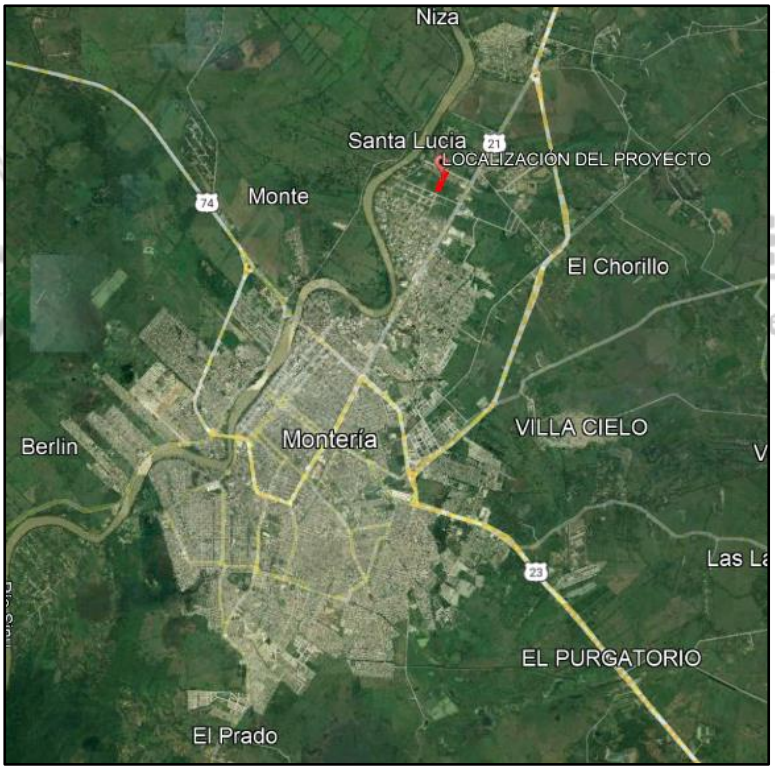


Figura 1. Localización del proyecto en el municipio.
Fuente: Google Earth.

El proyecto consiste en la construcción de 0.66 Km m de pavimento hidráulico (DOBLE CALZADA) distribuido entre los siguientes tramos:

ITEM	DIRECCIÓN	COMUNA/ CORREGIMIENTO	BARRIO/VEREDA
12	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (DOBLE CALZADA)	8	SAN FRANCISCO – LOS ROBLES

Tabla 1. Tramos de vías a construir.
Fuente: Suministrado por el solicitante.

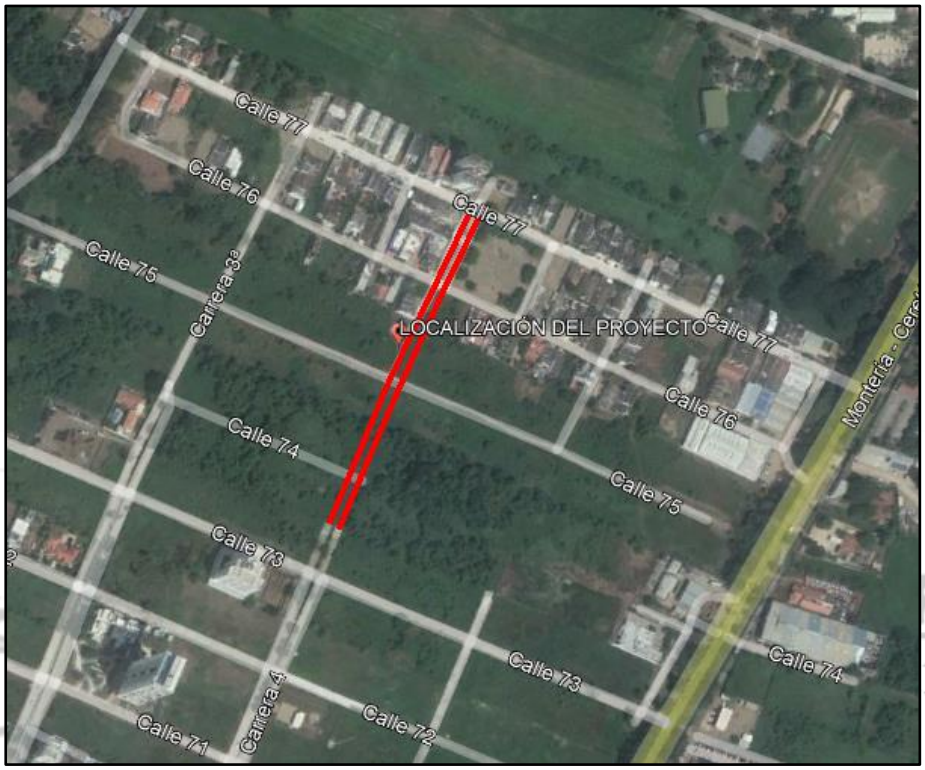


Figura 2. Localización del proyecto en la vereda.
Fuente: Google Earth.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

2.1. Objetivo.

Determinar las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t necesarios para realizar el diseño de la estructura de pavimento, teniendo en cuenta el transito actual y futuro de la vía; además de evaluar las condiciones de capacidad y nivel de servicio de la vía.

2.2. Alcances.

Para alcanzar el objetivo planteado se desarrollarán las siguientes actividades:

a) Ubicación general del proyecto.

b) Realización de conteo vehicular.
c) Proyección del tránsito de acuerdo con las características de la vía y el periodo de diseño.
d) Determinación las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t.
e) Determinar y analizar la capacidad y nivel de servicio de la vía.
f) Conclusiones.

3. GENERALIDADES.

3.1. Generalidades del municipio.

El municipio de Montería está situado en la zona centro del departamento de Córdoba, correspondiente a las tierras planas y ligeramente onduladas, de los valles de los ríos San Jorge y Sinú, entre las coordenadas 08° 45´27" de latitud Norte y 75° 53´24" de longitud Oeste, cubre un área total de 3141 Km^2.

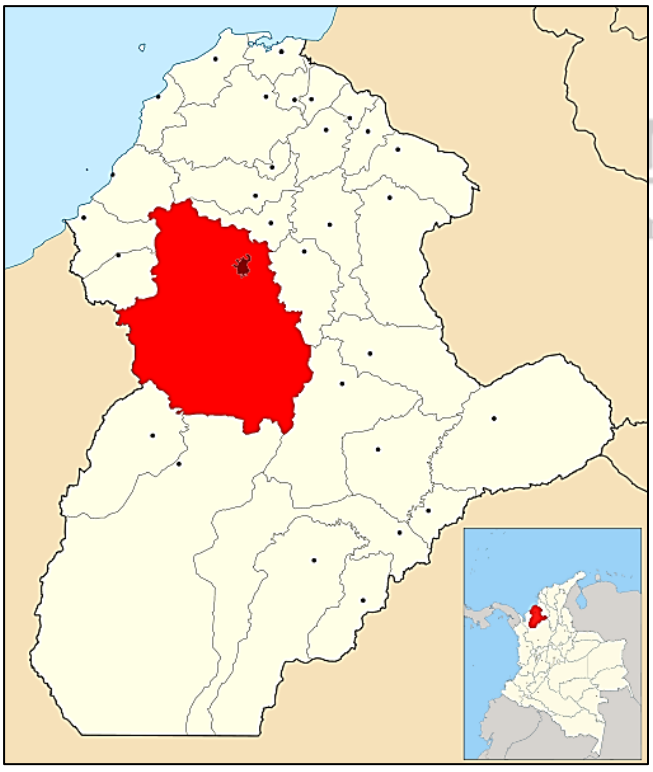


Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. "Montería", [En línea]. Julio de 2013, [julio de 2013]. Disponible en la web: https://es.wikipedia.org/wiki/Monter%C3%ADa.

Limita al Norte con el municipio de Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo; al este con San Carlos y Planeta Rica; al sur con Tierralta y Valencia; al oeste con el departamento de Antioquia y los municipios de Canalete y San Carlos.



Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.2. Geología.

El municipio de Montería hace parte de la unidad estratigráfica del Cinturón de San Jacinto y las unidades litoestratigráficas del anticlinorio de San Jerónimo conformado por rocas ígneas y rocas sedimentarias.

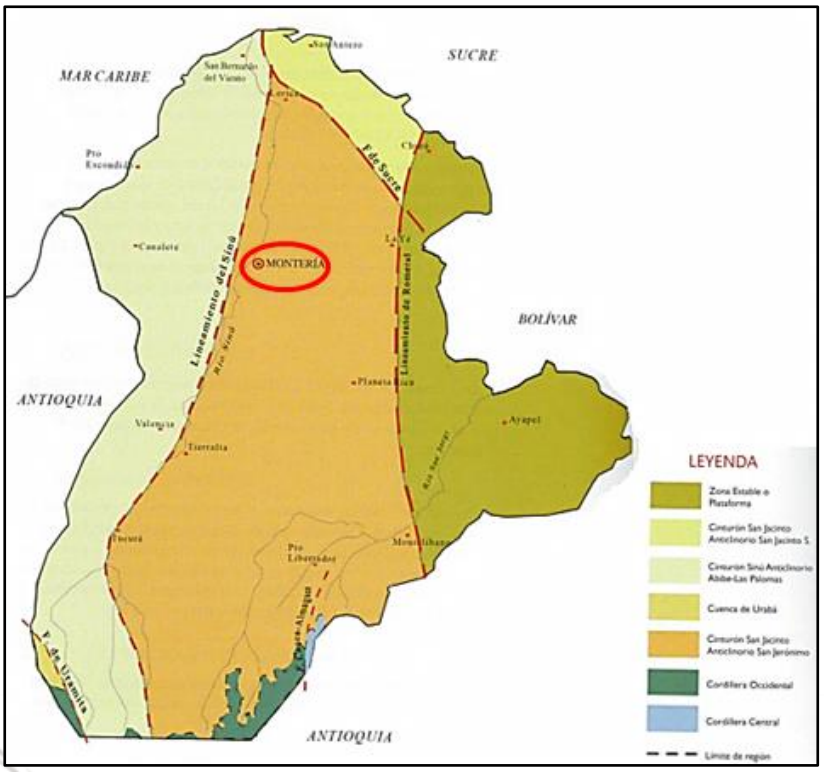


Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

La formación geológica en el lugar de construcción del proyecto corresponde a:

Q-al

Depósitos y llanuras aluviales

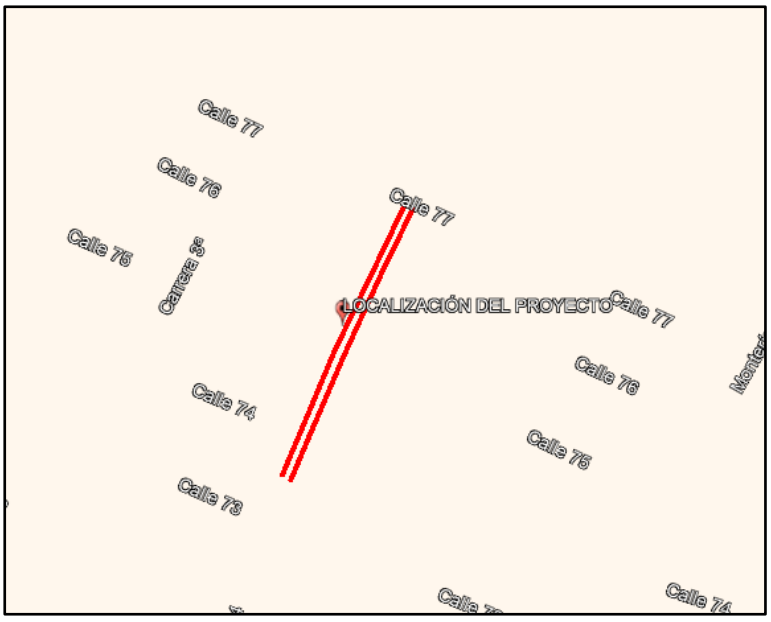


Figura 6. Mapa geológico del proyecto en el corregimiento.
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Los depósitos aluviales son suelos anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría. Generalmente presentan un nivel freático alto.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

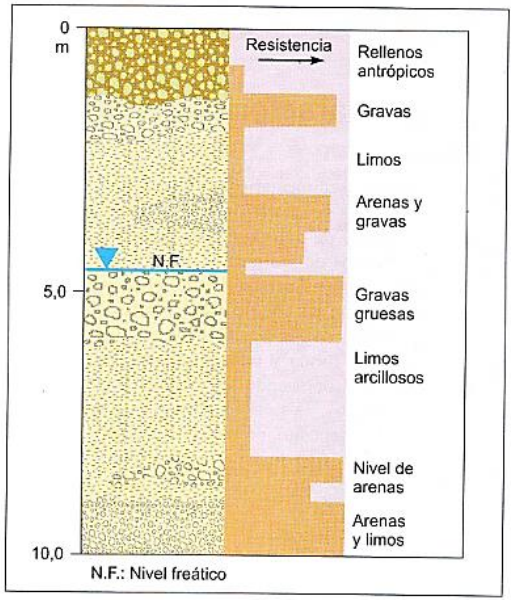


Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales.
Fuente: González Vallejo, "Ingeniería geológica", editorial: PRENTICE HALL.

3.3. Geomorfología.

El río Sinú se caracteriza por formar valles aluviales amplios, entre los cuales está el depósito aluvial del municipio de Montería el cual aflora desde el corregimiento de Santa Isabel, hasta la población de El Vidrial al norte de Montería, donde se forman las zonas planas de gran extensión que incluye las ciudades de Montería y Cereté.

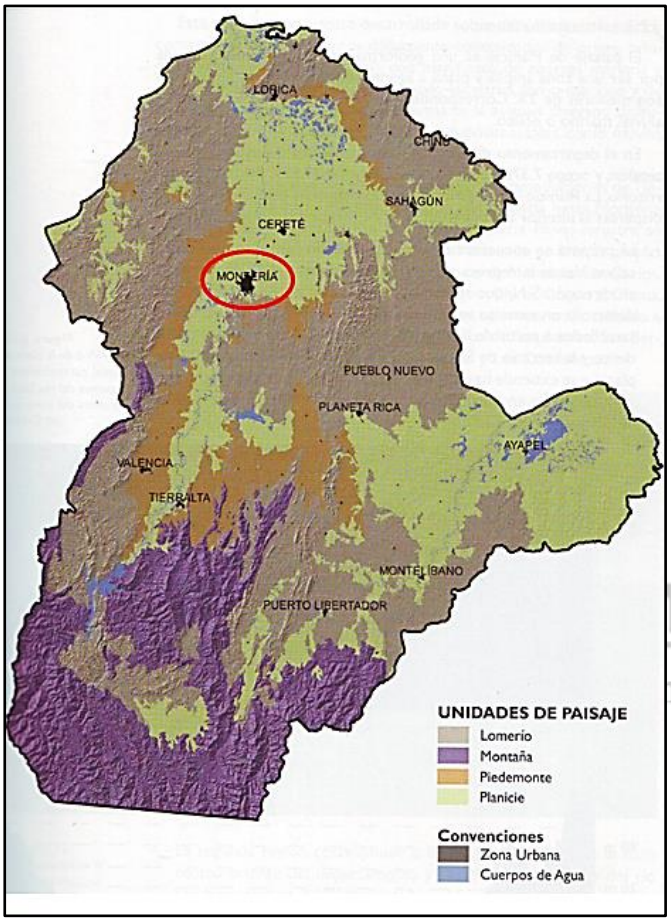


Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El sitio de construcción del proyecto corresponde a un paisaje tipo planicie, con un relieve de plano de inundación y terrazas, con una litología de sedimentos medios y finos.

El paisaje de planicie es una geoforma caracterizada por ser una zona amplia y plana a ligeramente plana, cuyas pendientes son menores a 3.00%. Corresponde a los diferentes aportes de origen aluvial, marino o eólico.

3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico.

El municipio de Montería se localiza en la geoestructura correspondiente a la megacuenca de sedimentación ubicada al norte y occidente de la cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23.788,87 Km^2, lo que equivale al 95.40% del territorio del departamento de Córdoba. Geográficamente a esta pertenecen las serranías de Abibe, San Jerónimo, y Ayapel.

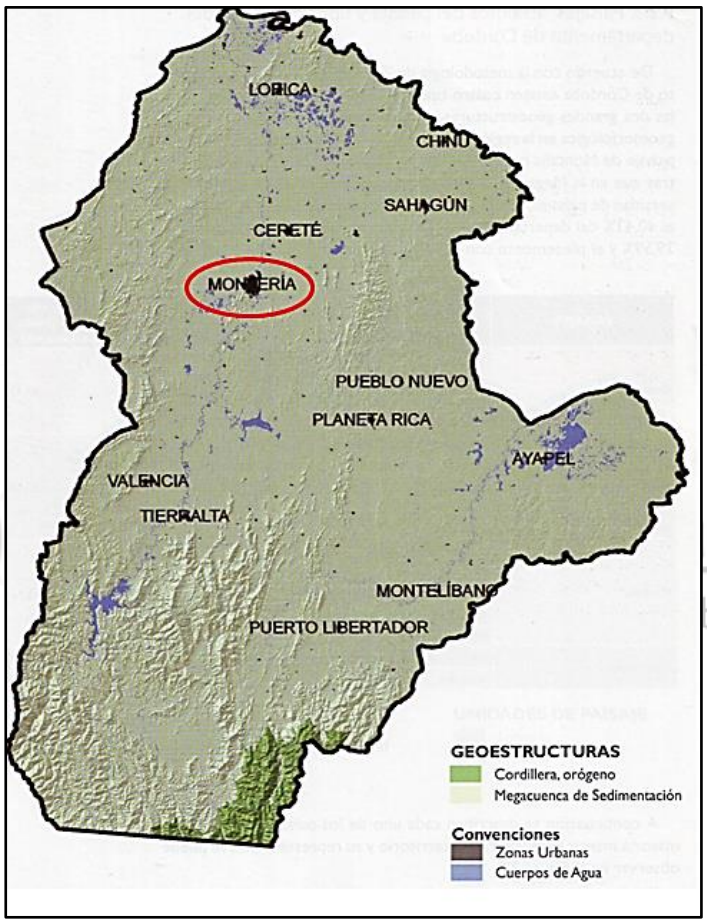


Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.5. Clima.

El municipio de Montería dada su fisiografía y su posición en la llanura del caribe colombiano, se localiza con respecto a los vientos provenientes del mar en una posición de sotavento ocasionando climas predominantemente secos la mayor parte del año, con una alta humedad relativa por la presencia del río Sinú y sus sistemas de ciénagas y humedales, presenta lluvias con vientos (vendavales) en épocas húmedas y unos

microrrelieves en las serranías de las Palomas y de San Carlos que se comportan como barloventos aumentando la nubosidad y la generación de lluvias.

El municipio de Montería posee una altura promedio de 18 msnm, con una precipitación media anual de 1200 mm.

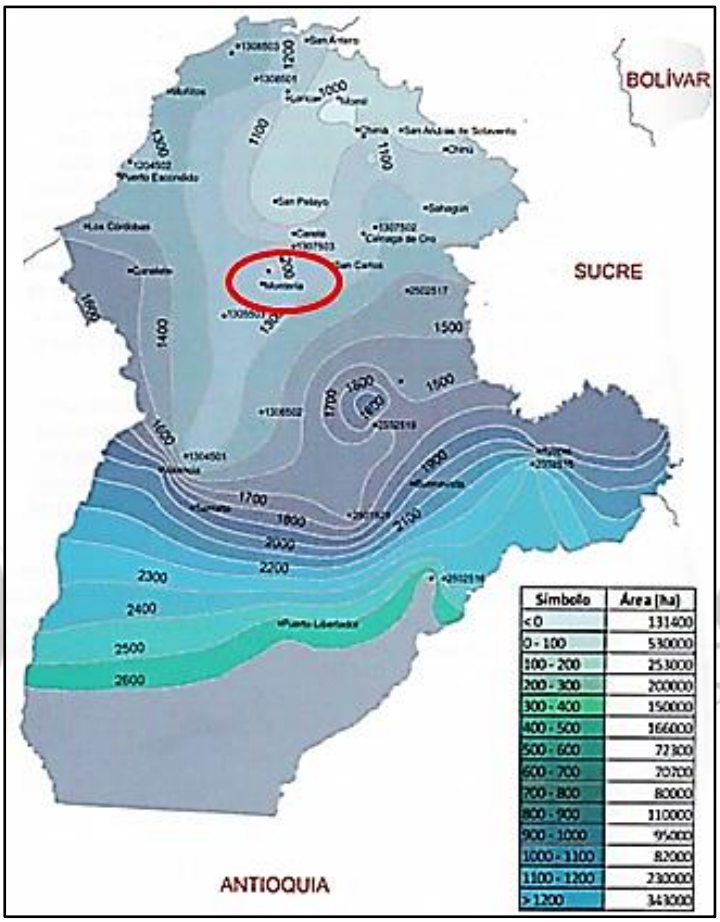


Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El municipio presenta dos temporadas de lluvia: La primera es en parte de abril y mayo, y la segunda entre los meses de septiembre y noviembre; una temporada de menor intensidad de lluvias entre los meses de junio y agosto, y por último una temporada seca entre los meses de diciembre a marzo.

El promedio anual de la temperatura es de 26.90 °C, con un ligero aumento en los meses de marzo, abril y mayo. La Variación no es muy significativa, pues el 98.20% del territorio

se encuentra en el piso térmico cálido. Por ello, puede considerarse que el promedio anual de 26.90 °C es representativo para el municipio de Montería.

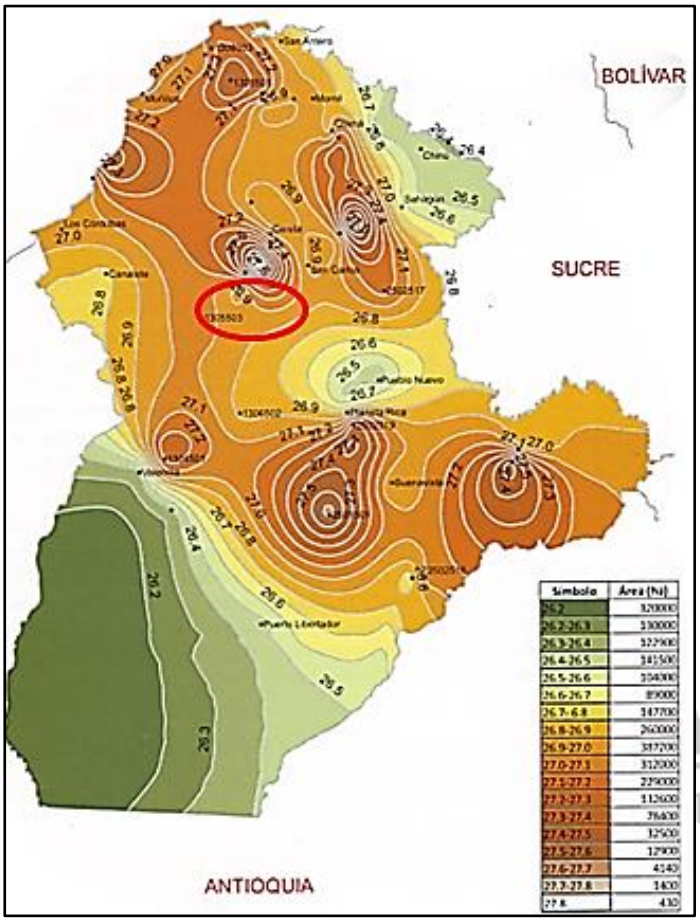


Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El brillo solar anual varía entre 1.400 y 1.800 horas de luz.
La humedad ambiente (84.00%), se relaciona con el brillo solar y con los intensos procesos de evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial (E.T.P.), presenta un área definida como de núcleo central regional del valle del Sinú que va desde Montería hasta el norte con un valor ubicado en el rango de 1700 - 1750 mm anuales decreciendo hacia las zonas extremas de la cuenca hasta los 1650 mm/año.

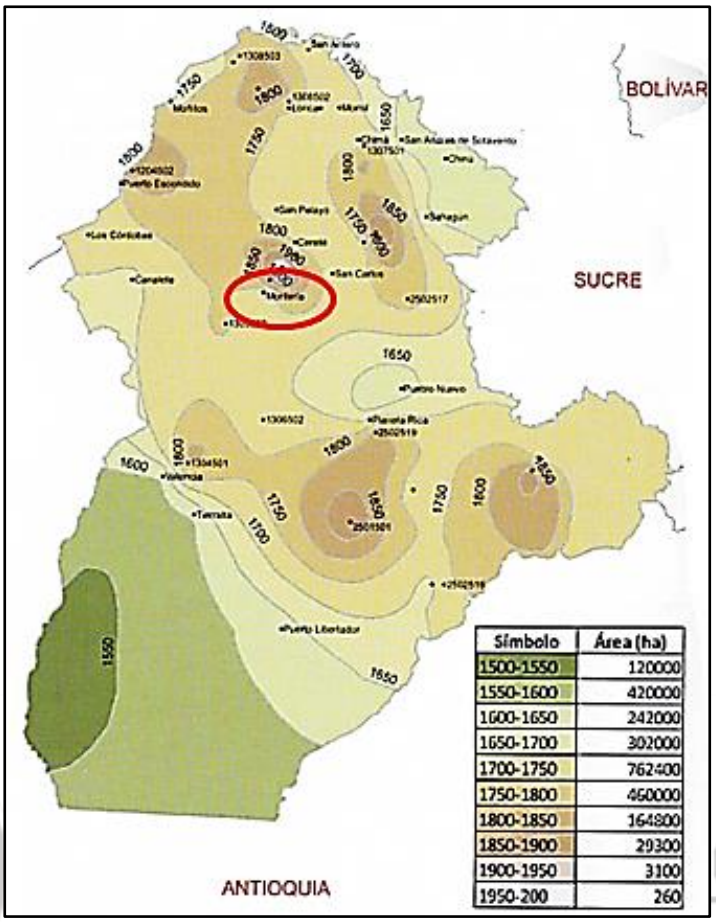


Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite, el municipio presenta una franja alineada a lado y lado del plano de inundación del río en el clima cálido -seco; en el resto del área de Montería sigue siendo cálido, pero con un régimen de humedad semi-húmedo.

Estación	msnm	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	ETP (mm)	Déficit (mm)	Exceso (mm)	Piso Térmico	Clase Clima	Símbolo
Montería	18	1200	26,9	1711,4	558,0	46,6	Cálido	Seco	c-S

Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.6. Vegetación.

El municipio de Montería tiene área de su territorio dentro de la parte media y baja del río Sinú, la vegetación original ha sido completamente degradada sólo a pequeños bosques o zonas de bosque de galería, por la transformación y/o adecuación de las tierras

de los ecosistemas para extensas áreas de praderas para el desarrollo de sistemas pecuarios semi - intensivos y extensivos y la agricultura comercial y de subsistencia. A los alrededores del municipio se encuentra áreas agrícolas heterogéneas, áreas que presentan heterogeneidad en la cobertura, ya sea por condiciones locales de clima o de suelos que hacen difícil la separación de unidades cartográficas homogéneas, y pastos de territorios agrícolas que son tierras ocupadas principalmente para la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

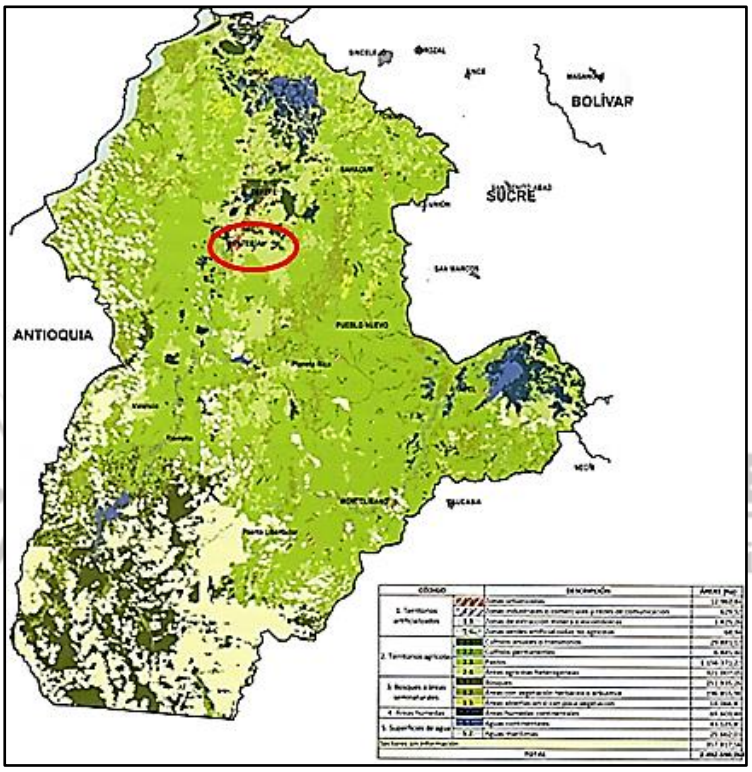


Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

4. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO.

Con base en los resultados obtenidos en un conteo vehicular realizado en la vía a diseñar, se estima el número de repeticiones esperadas por tipo de eje y el número ejes equivalentes de 8.20 toneladas, proyectados sobre el carril y período del diseño.

La información del aforo se presenta en el anexo 1 del presente informe.

4.1. Aforo vehicular.

La información necesaria para cuantificar el tránsito existente de la vía se recolectó a través de la realización de un aforo vehicular 12 horas durante 3 días con el fin de obtener el transito promedio semanal. Los volúmenes se tomaron en períodos de 15 minutos durante las horas de aforo, discriminados en autos, buses y camiones.

En la visita de campo se identificó el sitio correspondiente al mayor flujo vehicular donde se realiza el aforo, el cual se muestra a continuación:

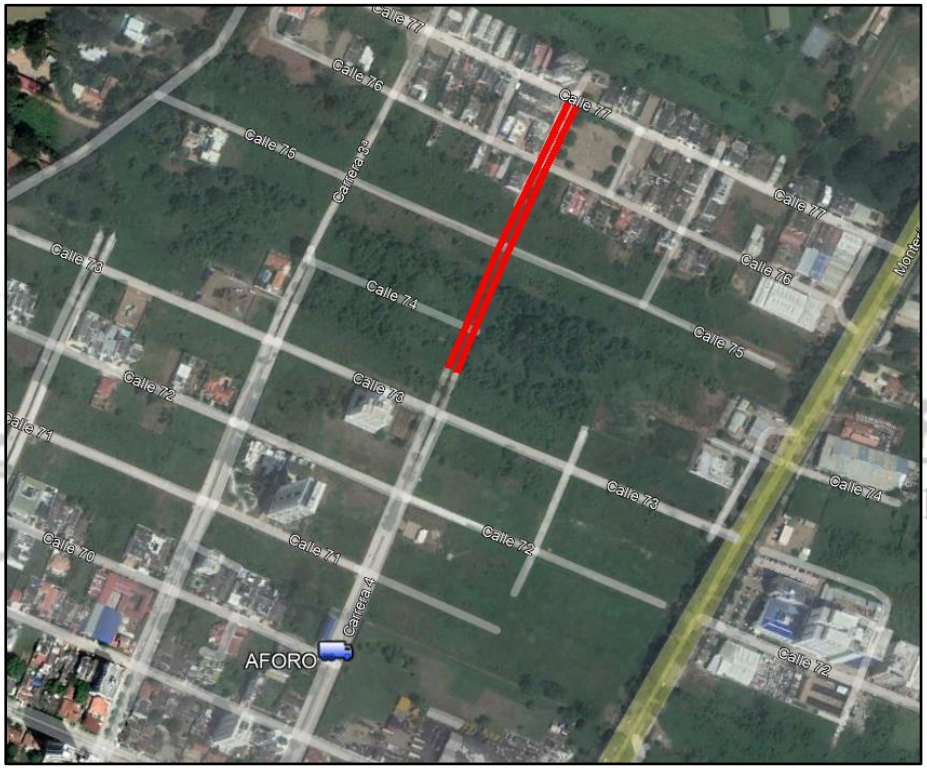


Figura 14. Localización del aforo realizado para el proyecto.
Fuente: Google Earth.

Actualmente la vía tiene doble sentido de circulación por lo que se realiza el conteo tanto para los vehículos sentido Norte-Sur como Sur-Norte, sin embargo, para el diseño se tiene en cuenta el sentido que presenta mayor volumen de tráfico, es este caso, en sentido Sur-Norte, siendo esa la condición crítica a la que estará sometida el pavimento.

4.2. Tránsito promedio diario.

Se define el volumen de tránsito como el número total de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo. De manera general se expresa como:

$$\boldsymbol{TPD} = \frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{1dia} < T \leq 1\boldsymbol{año}}$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante T días. De acuerdo con el número de días del periodo, se pueden presentar los siguientes volúmenes:

TPDA (Tránsito promedio diario anual).
TPDM (Tránsito promedio diario mensual).
TPDS (Tránsito promedio diaria semanal).

En este caso se utilizará el tránsito promedio diario semanal.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del tránsito promedio diario semanal para el aforo realizado:

Tipo de vehículo		BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE			
		Jueves	Viernes	Sábado	Total
Automóvil		49	135	135	104
Buses		0	0	0	0
Camión	C2P	0	3	2	2
	C2G	1	1	5	2
	C3	0	0	0	0
	C2-S1	0	0	0	0
Total		50	139	142	108

Tabla 3. Valor obtenido de TPDs en el aforo.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

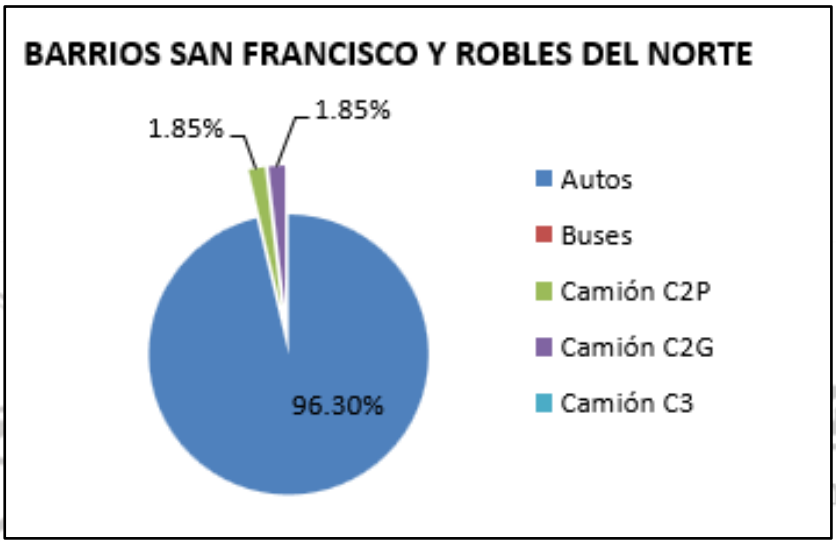
Por lo tanto, el TPDs= 108 veh/día.

4.2.1. Composición vehicular.

La composición vehicular nos da una idea porcentual de los tipos de vehículo que transitan más frecuentemente por la ruta aforada. A continuación, se muestra la composición vehicular de los movimientos analizados:

BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE					
TPDs	108	Composición vehicular			N vehículos
		%Autos		96.30%	104
		%Buses		0.00%	0
		%Camiones	C2P	1.85%	2
			C2G	1.85%	2
			C3	0.00%	0
			C2-S1	0.00%	0

Tabla 4. Composición vehicular.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

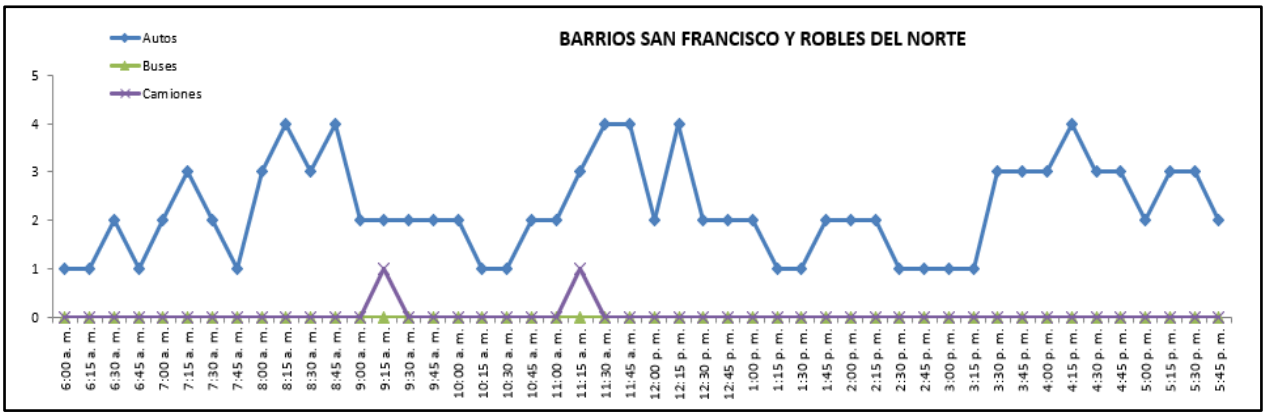


Gráfica 1. Composición vehicular.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

4.2.2. Variación horaria del volumen de tránsito.

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

En la siguiente gráfica se muestra la variación horaria del volumen de tránsito para los movimientos analizados:



Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

De la gráfica se concluye que los vehículos que más circulan son los autos, por lo tanto, el diseño geométrico debe estar acorde con este vehículo de diseño.

4.2.3. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda.

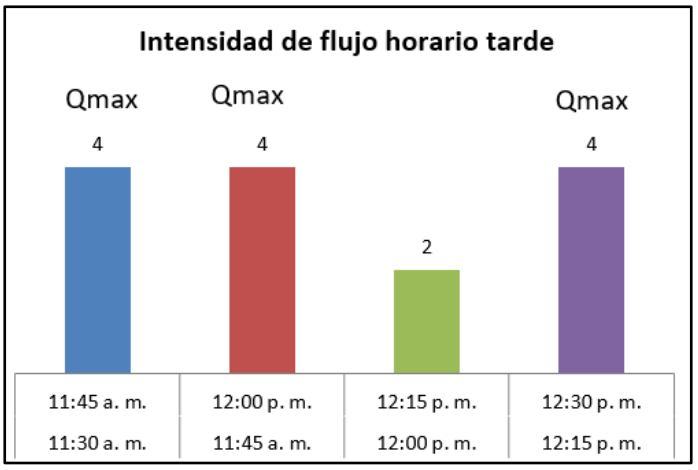
En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima. Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})}$$

Dónde:
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

La hora pico del aforo analizado es entre las 11:20 am – 12:30 pm. El volumen de hora pico fue de 14 vehículos. A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:



Gráfica 3. Intensidad del flujo en la hora pico.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

El factor de hora pico es igual a 0.88, esto indica que existe una distribución relativamente uniforme.

4.3. Proyección del tránsito.

El tránsito futuro se determina en función del tránsito inicial, el cual debe proyectarse hacia el futuro una vez se ha establecido el periodo de diseño, esto se hace a través de la estimación de la tasa anual de crecimiento del tránsito.

$$\boldsymbol{Tn = Ti * (1 + r)^n}$$

Dónde:
Tn: Transito en cualquier año n.
Ti: Transito en el año cero (inicial).
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito.
n: Período de diseño.

El tránsito en el año cero o inicial se estima como la suma del tránsito existente (TE), el atraído (Tat) y el generado (TG).

$$\boldsymbol{Ti = TE + Tat + TG}$$

Dónde:
TE: Se estima a través del aforo vehicular en la vía de estudio.
Tat: Al no disponer de información más precisa, se puede aplicar el criterio del instituto de ingenieros de Estado Unidos que señala que al tránsito atraído se le asignan porcentajes entre el 5 y el 25% del tránsito normal, con un periodo de aparición de uno (1) o dos (2) años después que la carretera ha sido abierta al servicio.

TG: Al tránsito generado se le asigna una tasa de incremento entre el 5 y 25% del tránsito actual. Con un periodo de generación de uno (1) a dos (2) años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

Para el transito atraído se tomará el valor máximo igual a 20% del tránsito existente, teniendo en cuenta las características de las vías a pavimentar y para el transito generado se tomará el valor igual a 10% del tránsito existente, teniendo en cuenta que el sector es principalmente residencial.

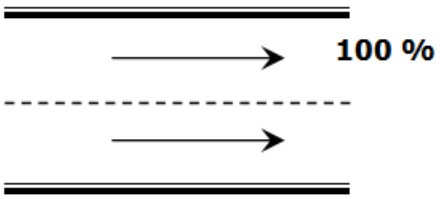
A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial:

Descripción de la vía	TPDs (veh/día)	Tat	TG	Ti
BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE	108	22	11	**141**

Tabla 5. Transito inicial.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

4.4. Factores de distribución.

Las vías a diseñar son en un solo sentido de circulación, por lo cual el factor direccional (DD) será igual a 1.00 de acuerdo a lo recomendado por el Instituto Nacional de Vías y el factor de distribución por carril (D_C) corresponde a 0.90.



4.5. Tasa de crecimiento anual del tránsito.

Para la tasa de crecimiento anual del tránsito, se asume un valor del 3% siendo este el valor máximo recomendado por la AASHTO para casos en donde se da un crecimiento normal.

4.6. Periodo de diseño.

De acuerdo con la PCA el periodo de diseño puede variar entre 20 y 40 años según las condiciones del diseño y construcción del pavimento. Comúnmente se utiliza para diseños de pavimento rígido un periodo de diseño de 20 años.

4.7. Cálculo del número de repeticiones esperadas y ejes equivalentes a 8.2 t en el año base.

La información referente al tráfico es empleada para conocer el número de repeticiones esperadas por tipo de eje en el periodo de diseño (método de la PCA) y los ejes equivalentes a 8.2 tn también en el periodo de diseño (método de la AASHTO). Ambos factores dependen de los siguientes parámetros:

- Tránsito promedio diario.
- Composición vehicular.
- Tasa de crecimiento anual del tránsito.
- Factor direccional.
- Factor distribución por carril.
- Período de diseño.

4.7.1. Repeticiones esperadas.

De acuerdo con los anteriores factores, el número de repeticiones esperadas se calcula como sigue y se discrimina por tipo de eje:

$$NVC = TPD * \%Te * D_D * D_C * 365 * Fp$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Dónde:
NVC: Número de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
TPD: Tránsito promedio diario.
%Te: Porcentaje del TPD para cada tipo de eje.
D_D: Factor Direccional.
D_C: Factor distribución por carril.
Fp: Factor de proyección.

$$\mathbf{Fp} = \frac{\mathbf{(1+r)^n - 1}}{\mathbf{Ln(1+r)}}$$

Siendo:
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito
n: Período de diseño.

Las repeticiones esperadas se muestran a continuación:

METODO DE LA PCA					
Tipo de eje	**Peso máx. (ton)**	**Repeticiones año base**	**Tasa de crecimiento r (%)**	**Periodo de diseño (años)**	**No. De Repeticiones esperadas**
SRS (Simple direccional)	4	858	3.00%	20	23392
	6	858			23392
SRD (Simple rueda doble)	6	858			23392
	11	858			23392
TANDEM (Tandem rueda doble)	22	0			0
TRIDEM (Tridem rueda doble)	24	0			0

Tabla 6. Repeticiones esperadas.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Nota: Debido a que la composición vehicular no contiene vehículos tipo buses y C3, se considera para el diseño un valor del 1% para cada uno de estos vehículos, teniendo en cuenta situaciones críticas en la que durante la operación de vía circulen buses para un viaje, y camiones C3 como el de la basura**.**

Las repeticiones esperadas proyectando las situaciones descritas, se muestran a continuación:

METODO DE LA PCA					
Tipo de eje	**Peso máx. (ton)**	**Repeticiones año base**	**Tasa de crecimiento r (%)**	**Periodo de diseño (años)**	**No. De Repeticiones esperadas**
SRS (Simple direccional)	4	1321	3.00%	20	36024
	6	1321			36024
SRD (Simple rueda doble)	6	1321			36024
	11	858			23392
TANDEM (Tandem rueda doble)	22	463			12632
TRIDEM (Tridem rueda doble)	24	0			0

Tabla 7. Repeticiones esperadas.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

4.7.2. Ejes equivalentes a 8.2 t en el año base.

Para el cálculo del número de ejes equivalentes es necesaria la utilización de unos factores adicionales, denominados factores de equivalencia, los cuales representan el número de aplicaciones de ejes sencillos con cargas equivalentes de 8.2 toneladas, correspondientes al paso de los ejes de diferentes pesos que circularán sobre el pavimento (bus o camión).

Los factores equivalentes utilizados son tomados de las tablas 8.24 hasta la 8.26 del libro "Ingeniería de pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. De Alfonso Montejo Fonseca". Son en total 5 tablas, las cuales varían según el índice de servicio final de vida y para cada uno de los tres ejes principales (simples, tándem y trídem).

A continuación, se muestran las tablas para índice de servicio final de 2.50, valor utilizado para el diseño del pavimento.

Tabla 8.24
Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, eje sencillo y pt 2,5.

Carga por eje kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
18,2	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
27,3	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
36,4	0,039	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
45,5	0,097	0,089	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080
54,5	0,203	0,189	0,181	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173
63,6	0,376	0,360	0,347	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336
72,7	0,634	0,623	0,610	0,604	0,601	0,599	0,599	0,599	0,598
81,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90,9	1,51	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
100,0	2,21	2,20	2,28	2,34	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41
109,1	3,16	3,10	3,22	3,36	3,45	3,50	3,53	3,54	3,55
118,2	4,41	4,26	4,42	4,67	4,85	4,95	5,01	5,04	5,05
127,3	6,05	5,76	5,92	6,29	6,61	6,81	6,92	6,98	7,01
136,4	8,16	7,67	7,79	8,28	8,79	9,14	9,35	9,46	9,52
145,5	10,8	10,1	10,1	10,7	11,4	12,0	12,3	12,6	12,7
154,5	14,1	13,0	12,9	13,6	14,6	15,4	16,0	16,4	16,5
163,6	18,2	16,7	16,4	17,1	18,3	19,5	20,4	21,0	21,3
172,7	23,1	21,1	20,6	21,3	22,7	24,3	25,6	26,4	27,0
181,8	29,1	26,5	25,7	26,3	27,9	29,9	31,6	32,9	33,7
190,9	36,2	32,9	31,7	32,2	34,0	36,3	38,7	40,4	41,6
200,0	44,6	40,4	38,8	39,2	41,0	43,8	46,7	49,1	50,8
209,1	54,5	49,3	47,1	47,3	49,2	52,3	55,9	59,0	61,4
218,2	66,1	59,7	56,9	56,8	58,7	62,1	66,3	70,3	73,4
227,3	79,4	71,7	68,2	67,8	69,6	73,3	78,1	83,0	87,1

Tabla 8.25
Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes tándem, y pt 2,5.

Carga por eje kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
27,3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
36,4	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
45,5	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
54,5	0,031	0,028	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
63,6	0,057	0,052	0,049	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
72,7	0,097	0,089	0,084	0,082	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080
81,8	0,155	0,143	0,136	0,133	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131
90,9	0,234	0,220	0,211	0,206	0,204	0,203	0,203	0,203	0,203
100,0	0,340	0,325	0,313	0,308	0,305	0,304	0,303	0,303	0,303
109,1	0,475	0,462	0,450	0,444	0,441	0,440	0,439	0,439	0,439
118,2	0,644	0,637	0,627	0,622	0,620	0,619	0,618	0,618	0,618
127,3	0,855	0,854	0,852	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849	0,849
136,4	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
145,5	1,43	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51
154,5	1,82	1,82	1,87	1,92	1,95	1,96	1,97	1,97	1,97
163,6	2,29	2,27	2,35	2,43	2,48	2,51	2,52	2,52	2,53
172,7	2,85	2,80	2,91	3,03	3,12	3,16	3,18	3,20	3,20
181,8	3,52	3,42	3,55	3,74	3,87	3,94	3,98	4,00	4,01
190,9	4,32	4,16	4,30	4,55	4,74	4,86	4,91	4,95	4,96
200,0	5,26	5,01	5,16	5,48	5,75	5,92	6,01	6,06	6,09
209,1	6,36	6,01	6,14	6,53	6,90	7,14	7,28	7,36	7,40

Continuación...

Tabla 8.25
Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes tándem, y pt 2,5.

Carga por eje kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
218,2	7,64	7,16	7,27	7,73	8,21	8,55	8,75	8,86	8,92
227,3	9,11	8,50	8,55	9,07	9,68	10,14	10,42	10,58	10,66
236,4	10,8	10,0	10,0	10,6	11,3	11,9	12,3	12,5	12,7
244,5	12,8	11,8	11,7	12,3	13,2	13,9	14,5	14,8	14,9
254,5	15,0	13,8	13,6	14,2	15,2	16,2	16,8	17,3	17,5
263,6	17,5	16,0	15,7	16,3	17,5	18,6	19,5	20,1	20,4
272,7	20,3	18,5	18,1	18,7	20,0	21,4	22,5	23,2	23,6
281,8	23,5	21,4	20,8	21,4	22,8	24,4	25,7	26,7	27,3
290,9	27,0	24,6	23,8	24,4	25,8	27,7	29,1	30,5	31,3
300,0	31,0	28,1	27,1	27,6	29,2	31,3	33,2	34,7	35,7
309,1	35,4	32,1	30,9	31,3	32,9	35,2	37,5	39,3	40,5
318,2	40,3	36,5	35,0	35,3	37,0	39,5	42,1	44,3	45,9
327,3	45,7	41,4	39,6	39,8	41,5	44,2	47,2	49,8	51,7
336,4	51,7	46,7	44,6	44,7	46,4	49,3	52,7	55,7	58,0
345,5	58,3	52,6	50,2	50,1	51,8	54,9	58,6	62,1	64,8
354,5	65,5	59,1	56,3	56,1	57,7	60,9	65,0	69,0	72,1
363,6	73,4	66,2	62,9	62,5	64,2	67,5	71,9	76,4	80,2
372,7	82,0	73,9	70,2	69,9	71,2	74,7	79,4	84,4	88,8
381,8	91,4	82,4	78,1	77,3	78,9	82,4	87,4	93,0	98,1
390,6	102	92	87	86	87	91	96	102	108
400,0	113	102	96	95	96	100	105	112	119
409,1	125	112	106	105	106	110	115	123	130

Tabla 8.26
Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes trídem, y pt 2,5.

Carga por eje kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
27,3	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
36,4	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
45,5	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
54,5	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
63,6	0,020	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
72,7	0,033	0,030	0,029	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
81,8	0,052	0,048	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043	0,043
90,9	0,080	0,073	0,069	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
100,0	0,116	0,107	0,101	0,099	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097
109,1	0,163	0,151	0,144	0,141	0,139	0,139	0,138	0,138	0,138
118,2	0,222	0,209	0,200	0,195	0,194	0,193	0,192	0,192	0,192
127,3	0,295	0,281	0,271	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262	0,262
136,4	0,384	0,371	0,359	0,354	0,351	0,350	0,349	0,349	0,349
145,5	0,490	0,480	0,468	0,463	0,460	0,459	0,458	0,458	0,458
154,5	0,616	0,609	0,601	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592
163,6	0,765	0,762	0,759	0,757	0,756	0,755	0,755	0,755	0,755
172,7	0,939	0,941	0,946	0,948	0,950	0,951	0,951	0,951	0,951
181,8	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
190,9	1,38	1,38	1,41	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46
200,0	1,65	1,65	1,70	1,74	1,77	1,78	1,78	1,78	1,79
209,1	1,97	1,96	2,03	2,09	2,13	2,15	2,16	2,16	2,16

Continuación...

Tabla 8.26
Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes trídem, y pt 2,5.

Carga por eje kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
218,2	2,34	2,31	2,40	2,49	2,55	2,58	2,59	2,60	2,60
227,3	2,76	2,71	2,81	2,94	3,02	3,07	3,09	3,10	3,11
236,4	3,24	3,15	3,27	3,44	3,56	3,62	3,66	3,68	3,68
244,5	3,79	3,66	3,79	4,00	4,16	4,26	4,30	4,33	4,34
254,5	4,41	4,23	4,37	4,63	4,84	4,97	5,03	5,07	5,09
263,6	5,12	4,87	5,00	5,32	5,59	5,76	5,85	5,90	5,93
272,7	5,91	5,59	5,71	6,08	6,42	6,64	6,77	6,84	6,87
281,8	6,80	6,39	6,50	6,91	7,33	7,62	7,79	7,88	7,93
290,9	7,79	7,29	7,37	7,82	8,33	8,70	8,92	9,04	9,11
300,0	8,90	8,28	8,33	8,83	9,42	9,88	10,17	10,33	10,42
309,1	10,1	9,4	9,4	9,9	10,6	11,2	11,5	11,7	11,9
318,2	11,5	10,6	10,6	11,1	11,9	12,6	13,0	13,3	13,5
327,3	13,0	12,0	11,8	12,4	13,3	14,1	14,7	15,0	15,2
336,4	14,6	13,5	13,2	13,8	14,8	15,8	16,5	16,9	17,1
345,5	16,5	15,1	14,8	15,4	16,5	17,6	18,4	18,9	19,2
354,5	18,5	16,9	16,5	17,1	18,2	19,5	20,5	21,1	21,5
363,6	20,6	18,8	18,3	18,9	20,2	21,6	22,7	23,5	24,0
372,7	23,0	21,0	20,3	20,9	22,2	23,8	25,2	26,1	26.7
381,8	25,6	23,3	22,5	23,1	24,5	26,2	27,8	28,9	29,6
390,6	28,4	25,8	24,9	25,4	26,9	28,8	30,5	31,9	32,8
400,0	31,5	28,6	27,5	27,9	29,4	31,5	33,5	35,1	36,1
409,1	34,8	31,5	30,3	30,7	32,2	34,4	36,7	38,5	39,8

Tabla 8. Factores de equivalencia para pavimentos de concreto.
Fuente: Montejo Fonseca, Alfonso. "Ingeniería de pavimentos, fundamentos, estudios básicos y diseño". Universidad Católica de Colombia. 2006.

Una vez obtenido este factor se puede calcular con el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el periodo de diseño. Se emplea la expresión matemática mostrada:

$$\boldsymbol{N = TPD * \%Te * D_D * D_C * 365 * Fp * FC}$$

Dónde:
N: Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el periodo de diseño
TPD: Tránsito promedio diario.
%Te: Porcentaje estimado de vehículos pesados (buses y camiones).
D_D: Factor Direccional.
D_C: Factor distribución por carril.
FC: Factor camión.
Fp: Factor de proyección.

$$\mathbf{Fp} = \frac{\mathbf{(1+r)^n - 1}}{\mathbf{Ln(1+r)}}$$

Siendo:
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito
n: Período de diseño.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

El número de ejes de 8.2 t, estimados se muestra a continuación:

Ejes de 8.2 tn (Periodo de diseño)	223020
	2.23E+05

Tabla 9. Número de ejes equivalentes a 8.2 t.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

El número de ejes de 8.2 t proyectando las situaciones descritas, se muestran a continuación:

Ejes de 8.2 tn (Periodo de diseño)	395620
	3.96E+05

Tabla 10. Número de ejes equivalentes a 8.2 t.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

De acuerdo con el número de ejes equivalentes a 8.2 t el nivel de tránsito corresponde a NT1.

4.8. Descripción de las condiciones actuales.

Las vías urbanas se jerarquizan según su función en autopistas, arterias, colectoras y de servicio.

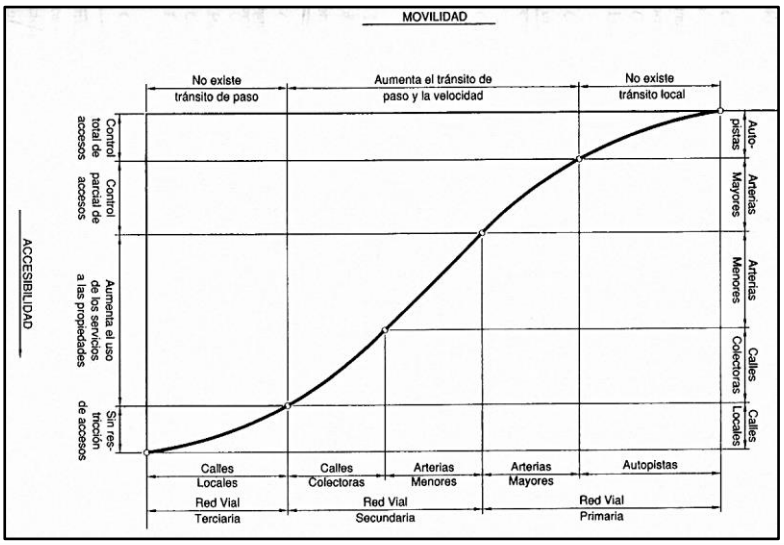


Figura 15. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano.
Fuente: Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.

La clasificación vial de los barrios San Francisco y Robles del Norte, se muestra a continuación:



Figura 16. Clasificación vial del proyecto.
Fuente: POT municipio de Montería.

De acuerdo con el POT del municipio las vías a construir se definen como propuesta vial interna las cuales se asemejan a vías locales. Las vías se encuentran sin pavimentar y algunos tramos sin intervención humana, como se muestra en el siguiente registro fotográfico:



Fotografía 1. Tramo de la vía pavimentado.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría.

5. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA CALCULAR CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Para la obtención de la capacidad y nivel de servicio de este proyecto se hizo uso del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril- primera edición.

5.1. Tipos de análisis y pasos requeridos en la aplicación.

Los tipos de análisis que se pueden realizar son:

- Análisis de operación.
- Análisis de planeación.

El análisis de operación se aplica a tramos existentes, en cuyo caso se obtiene el Nivel de Servicio ofrecido por la vía.

El análisis de planeación se aplica a tramos nuevos para los cuales se define un Nivel de Servicio deseado y se obtiene el número de carriles necesarios para ofrecer dicho nivel

En la Tabla 8 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril se presenta un resumen de los tipos de análisis incluidos en el manual y las características básicas de cada uno de ellos.

A manera de referencia se menciona un tercer tipo de análisis, el análisis detallado, que se puede realizar utilizando el Modelo de simulación SIMCAR. A los usuarios interesados en este procedimiento se les recomienda consultar la documentación del modelo y la guía de uso, proporcionadas en el Documento 10, del informe de investigación.

Tipo de análisis	Aplicación	Características básicas
I. Análisis operacional	Tramo genérico	Sectores en los cuales se alternan rampas de ascenso y descenso con longitudes menores a 500 m. Los trazados se clasifican en tipo 1, tipo 2 y tipo 3.
	Rampa de ascenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente ascendente sostenida.
	Rampa de descenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente descendente sostenida.
II. Análisis de planeación	Tramo genérico	Sectores de análisis en los cuales se alternan rampas de ascenso y descenso con longitudes menores a 500 m. Los trazados se clasifican en tipo 1, tipo 2 y tipo 3.
	Rampa de ascenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente ascendente sostenida.
	Rampa de descenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente descendente sostenida.
III. Análisis detallado (simulación)	Procedimiento único	Sector de análisis con información detallada del alineamiento horizontal y vertical, vehículos, tránsito.

Tabla 11. Tipos de análisis incluidos en el manual.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.1.1. Pasos a seguir para un análisis de operación.

Los pasos para un análisis de operación son:

• Paso 1: Sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información necesaria para usar el manual.
• Paso 2: Determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis.
• Paso 3: Cálculo del flujo vehicular.
• Paso 4: Determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis.
• Paso 5: Cálculo de la densidad.
• Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio.

5.2. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información para usar el manual.

Se detallan las actividades a realizar en el primer paso del procedimiento.

5.2.1. Proceso de sectorización

La aplicación de la metodología se debe realizar a sectores homogéneos del tramo en estudio, por lo que es necesario realizar un proceso de sectorización. El tramo de análisis lo constituye la cadena de sectores homogéneos, cada uno de la mayor longitud posible, que presentan regularidad en los siguientes aspectos:

- Patrón de velocidad de los camiones
- Tortuosidad de la vía
- Magnitud de la pendiente de las tangentes verticales
- Ancho de carril
- Existencia o no de separador
- Distancias libres laterales
- Tránsito

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

El procedimiento para identificar los sectores de análisis donde las características de la vía son uniformes se puede realizar de dos formas no excluyentes:

- En la oficina, consultando planos topográficos de la carretera en estudio.
- En la vía, mediante consultas, inspección ocular y toma de datos.

Para llevar a cabo la sectorización se debe obtener la información de las características físicas de la carretera con mediciones sencillas y evaluaciones de campo.

Si no es posible realizar mediciones y evaluaciones de campo, por sencillas que estas sean, el analista puede recurrir al análisis de imágenes satelitales existentes, y con ellas establecer los parámetros necesarios.

Si el análisis corresponde a la toma de decisiones para la planificación de una carretera por construir, la información se puede obtener de los prediseños elaborados en la fase uno del proyecto (Prefactibilidad).

5.2.2. Definición del tipo de aplicación

El tipo de aplicación a usar depende fundamentalmente del tipo de terreno.

5.2.3. Tramos genéricos

Una aplicación de tramo genérico se da cuando el sector presenta rampas combinadas de ascenso y descenso; los vehículos incrementan su energía potencial en los descensos y la aprovechan para emprender el ascenso. Se dan tres tipologías genéricas:

• Tipo 1. Plano
Es un sector en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades similares a las de los automóviles. Su alineamiento en perfil lo constituyen tangentes verticales con pendientes combinadas o sostenidas menores o iguales a 3.0 %.

• Tipo 2. Ondulado
Es un sector con tangentes verticales cortas alternadas de ascenso y descenso en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades mayores que su velocidad de régimen, ya que ganan velocidad en las tangentes descendentes y la pierden parcialmente en las ascendentes. El alineamiento en perfil presenta las siguientes características:

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

– Sucesión de tangentes verticales alternando el signo (+/- o -/+).
– Tangentes verticales con longitud menor o igual a quinientos metros.
– Pendiente media (Pm) entre el 3 % y el 5 %. Este parámetro representa el promedio ponderado con respecto a la longitud de cada tangente vertical del sector, en valor absoluto.

• Tipo 3. Montañoso

Es un sector con tangentes verticales cortas alternadas de ascenso y descenso en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades mayores que su velocidad de régimen, ya que ganan velocidad en las tangentes descendentes y la pierden parcialmente en las ascendentes. Su alineamiento en perfil presenta las siguientes características:
– Sucesión de tangentes verticales alternando el signo (+/- o -/+).
– Tangentes verticales con longitud menor o igual a quinientos metros.

– Pendiente media (Pm) mayor al 5 %. Este parámetro representa el promedio ponderado con respecto a la longitud de cada tangente vertical del sector, en valor absoluto.

5.2.4. Rampas de ascenso y descenso

Una aplicación de rampa de ascenso o de descenso se presenta cuando el alineamiento vertical incluye tangentes verticales con pendientes sostenidas y con longitudes superiores a 500 metros.

5.3. Información necesaria para usar el manual.

Para la aplicación del manual se requiere información de campo y/o de oficina, que se agrupa en dos categorías:

• Categoría 1. Información relacionada con la geometría.
• Categoría 2. Información relacionada con la demanda de tránsito.

5.3.1. Variables relacionadas con la geometría

Para realizar los ajustes a la velocidad a flujo libre característica del sector en estudio, y para cada sentido de circulación, se debe determinar:

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

• Ancho de carril.
• Tipo y ancho del separador.
• Ancho de bermas.
• Densidad de accesos.

a. Ancho de carril.

Se debe medir el ancho de los carriles en diferentes secciones del sector, verificando la homogeneidad de esta dimensión.

b. Tipo y ancho del separador.

Se determina la existencia o no del separador en la carretera y su ancho. Las características del separador deben ser homogéneas a lo largo del sector de análisis.

c. Ancho de bermas.

Se debe medir el ancho de las bermas en cada sentido de análisis, verificando su homogeneidad.

d. Densidad de accesos.

Se deben contar el número de puntos de acceso del lado derecho de la vía. Para ello, se recomienda hacer un recorrido del sector y elaborar un esquema con el inventario de puntos de acceso. Con esta información se calcula la densidad como la relación entre el total de puntos de acceso y la longitud del sector de análisis, en kilómetros.

Se recomienda incluir únicamente los accesos con movimientos importantes a lo largo del día. Una residencia con servicio esporádico no se considera punto de acceso.

5.3.2. Variables relacionadas con el tránsito.

Se consideran dos variables.

5.3.3. Volumen de tránsito mixto y factor de hora pico (FHP)

Se debe realizar un conteo vehicular en horas de máxima demanda, en períodos de 15 minutos, para obtener el volumen de dicha hora en veh/h (tránsito mixto).

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Determinar el factor de hora pico para cada sentido de circulación. Este factor se calcula como la relación entre el volumen mixto en la hora de máxima demanda y el flujo de tránsito correspondiente al volumen de los 15 minutos máximos de esa hora.

5.3.4. Información relacionada con los camiones.

Para determinar la equivalencia de camiones se requiere la siguiente información:

- Pendiente y longitud de la pendiente en el sector de análisis.
- Porcentaje de camiones.

5.4. Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis.

5.4.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL).

La velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL) puede ser medida en campo o estimada a partir de un procedimiento analítico

5.4.2. Medición en campo de VL.

Es recomendable hacer un estudio de velocidades de campo para determinar la velocidad a flujo libre del sector de análisis. Cuando las condiciones de la carretera sean atípicas o el pavimento se encuentre en malas condiciones este estudio es obligatorio.

Debe medirse velocidad al menos a sesenta vehículos a flujo libre, o lo que indique la estadística para este tipo de estudios. El valor de VL corresponde al percentil 85 de la velocidad.

Cuando VL se obtiene de mediciones de campo, no se aplica ninguna corrección.

5.4.3. Estimación de VL.

La velocidad a flujo libre puede estimarse analíticamente utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{VL} = \mathbf{VG} - f_C - f_S - f_B - f_A$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Donde:
VL = velocidad a flujo libre del sector
VG = velocidad genérica del sector.
f_C = corrección por ancho de carril.
f_S = corrección por ancho de separador.
f_B = corrección por promedio de ancho de bermas.
f_A = corrección por densidad de accesos.

a. Estimación de la velocidad genérica del sector (VG)

El concepto de la velocidad base a flujo libre se ha utilizado en Colombia con el nombre de velocidad genérica (VG) Es la velocidad característica de la carretera teniendo en cuenta el trazado horizontal y vertical bajo un criterio de consistencia geométrica. Los elementos de la sección transversal y el entorno de la vía se consideran en una etapa posterior, aplicando correcciones a la velocidad genérica para obtener la velocidad a flujo libre para las condiciones imperantes en la carretera en estudio.

Teniendo en cuenta las características geométricas se formuló una clasificación de las carreteras multicarril en tres tipos A1, B1 y C1, según lo indicado en la Tabla 10 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 10. Clasificación de las carreteras multicarril según sus características geométricas.

Clasificación	Características geométricas
Tipo A1	Velocidad de diseño: 100 a 120 km/h Radio mínimo: 400 m Pendiente máxima: 5 % Ancho de calzada: 7.30 m Ancho de berma izquierda: 1.00 m Ancho de berma derecha: 2.50 m
Tipo B1	Velocidad de diseño: 80 a 100 km/h Radio mínimo: 230 m Pendiente máxima: 6 % Ancho de calzada: 7.30 m Ancho de berma izquierda: 0.50 m Ancho de berma derecha: 1.80 m
Tipo C1	Velocidad de diseño: 60 a 80 km/h Radio mínimo: 70 m Pendiente máxima: 8 % Ancho de calzada: 7.00 m Ancho de berma izquierda: 0.50 m Ancho de berma derecha: 1.50 m

Tabla 12. Clasificación de las carreteras multicarril según sus características geométricas. Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Incorporando a las características geométricas aspectos como zona libre lateral, control de accesos y presencia de peatones, resultan cinco tipos de carreteras multicarril a los que se asigna una velocidad genérica, siguiendo criterios de consistencia geométrica. En la Tabla 11 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril se consignan las características de cada tipología y la velocidad genérica asignada.

Tabla 11. Velocidad genérica por tipo de carretera.

Tipo de carretera	Velocidad genérica (km/h)	
	Con separador	Sin separador
Multicarril, con características geométricas de vía tipo A1, zona despejada de 9 m o con elementos de contención vehicular, accesos controlados, sin peatones.	120	No aplica
Multicarril, con características geométricas de vía tipo B1, control parcial de accesos, sin concentración de peatones.	100	90
Multicarril, con características geométricas de vía tipo B1, sin control de accesos, sin concentración de peatones.	90	80
Multicarril, con características geométricas de vía tipo C1, sin control de accesos, sin peatones frecuentes.	80	70
Multicarril, con características geométricas de vía tipo C1, sin control de accesos, con peatones frecuentes.	70	60

Tabla 13. Velocidad genérica por tipo de carretera.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

b. Correcciones a la velocidad genérica.

- Corrección por ancho de carril (f_c)

La corrección por ancho de carril se hace con los factores indicados en la Tabla 12 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

PABLO CASTILLA NEGRETE Ambientales

Tabla 12. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (f_c).

Ancho del carril (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho del carril (km/h)
3.0	14.8
3.3	2.0
>= 3.5	0.0

Tabla 14. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (fc).
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

- Corrección por ancho de separador, (f_S)

La corrección por ancho de separador se realiza con los factores indicados en la Tabla 13 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 13. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (f_s)

Ancho del separador (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho de separador (km/h)
0.0	2.80
0.5	1.60
1.0	1.30
1.5	0.90
2.0	0.70
>3.0	0.00

Tabla 15. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

- Corrección por ancho promedio de bermas (f_B)

La corrección por ancho promedio de bermas se realiza con los factores de la Tabla 14 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 14. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (f_B)

Ancho promedio de bermas (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (km/h)
0.0	7.9
0.5	2.5
1.0 – 1.5	1.7
1.8	0.8
>= 2.0	0.0

Tabla 16. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

- Corrección por densidad de accesos (f_A)

La corrección por densidad de accesos se realiza con los factores de la Tabla 15 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 15. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (f_A)

Densidad de accesos (Puntos/km)	Corrección a la velocidad genérica por efecto de la densidad de accesos (km/h)
5	3.0
10	6.4
15	11.0
>=20	17.4

Tabla 17. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (fA). Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.4.4. Elección de la curva maestra de referencia

Esta velocidad se debe aproximar a la velocidad a flujo libre de una de las cuatro curvas maestras típicas desarrolladas:

- Tipo 1 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 96 km/h.
- Tipo 2 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 90 km/h.
- Tipo 3 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 80 km/h.
- Tipo 4 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 70 km/h.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Se debe seleccionar la velocidad a flujo libre que corresponda a la curva típica más cercana. Si estos cálculos arrojan valores mayores a 96 km/h se deberá escoger una velocidad a flujo libre de 96 km/h. Si el caso es de velocidades libres menores a 70 km/h se deberá seleccionar la velocidad a flujo libre de 70 km/h. La curva maestra de análisis se seleccionará aproximando el valor de la velocidad a flujo libre característica al valor más cercano múltiplo de 10.

Las ecuaciones finales adoptadas para los diferentes tipos de multicarril tiene la forma funcional:

$$v = v_f - a * \left[\frac{v_p}{b}\right]^c : v_p = q_p$$

En donde v es la velocidad a flujo libre y qp es el flujo de tránsito en vehículos equivalentes por hora, a, b y c son parámetros a estimar. En la Tabla 16 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril se presentan los coeficientes de las ecuaciones

para cada tipo de multicarril estudiada. Se resalta que las curvas no presentan un primer tramo horizontal.

Tabla 16. Coeficientes de las ecuaciones flujo - velocidad. Carreteras multicarril Colombia.

Tipo de curva	vf	a	b	c
Multicarril tipo 1 96 km/h	96	4.609	1124.526	1.624
Multicarril tipo 1 90 km/h	90	1.040	882.082	2.545
Multicarril tipo 1 80 km/h	80	2.375	1036.550	2.044
Multicarril tipo 1 70 km/h	70	5.497	692.345	1.010

Tabla 18. Coeficientes de las ecuaciones flujo -velocidad. Carreteras multicarril Colombia. Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

La gráfica de cada una de las curvas de ajuste seleccionadas por tipo de multicarril se presenta en la Figura 9 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

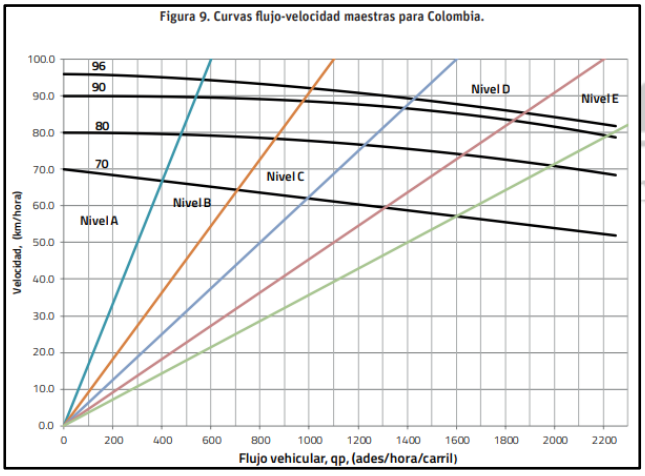


Figura 17. Curvas flujo-velocidad maestras para Colombia. Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.5. Paso 3: cálculo del flujo vehicular

Debe corregirse el volumen de tránsito mixto y tenerse en cuenta el equivalente de camiones.

5.5.1. Corrección del volumen.

El volumen de tránsito en vehículos mixtos (veh/h/ sentido) se debe convertir en flujo vehicular, mediante la siguiente ecuación

$$q_p = v_p = \frac{V}{FHP * N * f_{HV} * f_p}$$

En donde:

v_p: flujo de tránsito, en veh/h/carril. (qp)

V: volumen de tránsito mixto, en veh/h/sentido.

FHP: factor de hora pico.

N: número de carriles

f_{HV}: factor de corrección por camiones

f_p: factor por conocimiento de la vía.

$f_p = 1.00$ (conductores frecuentes)

$f_p = 0.90$ (conductores ocasionales)

El factor de corrección por camiones se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1)}$$

En donde:

f_{HV}: factor de corrección por camiones.

P_c: porcentaje de camiones.

E_c: factor de equivalencia de camiones.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

5.5.2. Equivalente de camiones.

Se tienen en cuenta el tipo de terreno y las rampas

5.5.3. Tipo de terreno genérico.

Cuando la aplicación corresponde a terreno genérico se deben utilizar los equivalentes indicados en la Tabla 17 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 17. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico.

Tipo de terreno	Equivalente de camión, EC
Plano	1.8
Ondulado	2.3
Montañoso	4.4

Tabla 19. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.5.4. Rampa en ascenso.

Esta situación corresponde a sectores de análisis con pendientes ascendentes sostenidas. Es posible realizar ponderaciones de pendientes en tramos con rampas continuas en ascenso con longitudes de pendientes menores a 2000 m. Si se supera este límite de longitud se deberá estudiar esa rampa en forma independiente.

Tabla 18. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	50
0	Todas	2.8	2.2	2.1	2.1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
1	500	3.0	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8
	1000	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8
	1500	2.8	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8
	2000	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0	2.0	1.9	1.8
	2500	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9
	3000	2.8	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	3500	2.8	2.7	2.6	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	4000	2.8	2.8	2.6	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9
	5000	2.8	2.8	2.7	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9
	6000	2.8	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	7000	2.9	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	8000	3.0	3.0	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
2	500	3.1	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8
	1000	3.0	2.4	2.4	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9
	1500	3.2	2.5	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	2000	3.2	2.6	2.6	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	2500	3.3	2.6	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0
	3000	3.4	2.7	2.7	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0
	3500	3.4	2.8	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	4000	3.4	2.9	2.9	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	5000	3.5	3.0	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0
	6000	3.6	3.1	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
	7000	3.7	3.3	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
	8000	3.8	3.4	3.2	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
3	500	3.1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
	1000	3.2	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9
	1500	3.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	3.5	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0
	2500	3.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	3000	3.7	3.1	2.9	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.1
	3500	3.8	3.2	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
	4000	3.9	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1
	5000	4.1	3.5	3.3	2.9	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
	6000	4.2	3.7	3.4	3.0	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2
	7000	4.4	3.8	3.5	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2
	8000	4.5	4.0	3.6	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2

Continuación Tabla 18. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	50
4	500	3.1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
	1000	3.2	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9
	1500	3.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	3.5	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0
	2500	3.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	3000	3.7	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
	3500	3.8	3.6	3.2	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2
	4000	4.0	3.7	3.3	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3
	5000	4.4	4.0	3.5	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3
	6000	4.7	4.2	3.8	3.3	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4
	7000	5.0	4.3	3.9	3.4	3.1	2.9	2.8	2.6	2.4
	8000	5.3	4.5	4.1	3.5	3.2	3.0	2.8	2.7	2.4
5	500	3.1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
	1000	3.2	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9
	1500	3.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	3.5	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0
	2500	3.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	3000	3.7	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
	3500	4.3	3.8	3.5	3.1	3.0	2.7	2.7	2.5	2.4
	4000	4.6	3.9	3.6	3.3	3.1	2.8	2.8	2.6	2.4
	5000	5.1	4.2	3.9	3.5	3.3	3.0	2.9	2.7	2.5
	6000	5.6	4.5	4.1	3.7	3.5	3.1	3.1	2.8	2.6
	7000	6.2	4.8	4.3	3.8	3.6	3.2	3.1	2.9	2.6
	8000	6.8	5.0	4.5	4.0	3.7	3.3	3.2	3.0	2.7
6	500	3.5	2.7	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9
	1000	3.5	2.9	2.5	2.4	2.3	2.3	2.1	2.1	2.0
	1500	3.6	3.1	2.7	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
	2000	3.9	3.3	2.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.4	2.2
	2500	4.3	3.5	3.2	2.9	2.8	2.7	2.5	2.5	2.3
	3000	4.7	3.7	3.4	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4
	3500	5.0	4.0	3.7	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5
	4000	5.2	4.2	3.9	3.4	3.3	3.2	2.9	2.9	2.6
	5000	5.7	4.7	4.3	3.8	3.5	3.4	3.1	3.0	2.7
	6000	6.2	5.1	4.6	4.0	3.7	3.6	3.3	3.2	2.8
	7000	6.7	5.4	4.9	4.2	3.9	3.7	3.4	3.3	2.9
	8000	7.1	5.6	5.1	4.4	4.0	3.8	3.5	3.3	2.9

Continuación Tabla 18. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	50
7	500	3.5	2.7	2.5	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9
	1000	3.6	3.0	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2	2.2	2.0
	1500	4.0	3.3	3.0	2.8	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2
	2000	4.4	3.6	3.3	3.1	2.8	2.8	2.5	2.5	2.3
	2500	4.9	4.0	3.6	3.3	3.0	3.0	2.7	2.6	2.5
	3000	5.3	4.3	3.9	3.6	3.2	3.2	2.9	2.8	2.6
	3500	5.8	4.7	4.2	3.8	3.4	3.3	3.0	2.9	2.7
	4000	6.2	5.0	4.4	4.0	3.6	3.5	3.2	3.1	2.9
	5000	6.9	5.6	5.0	4.4	4.0	3.8	3.5	3.4	3.1
	6000	7.4	6.1	5.4	4.7	4.2	4.0	3.7	3.5	3.2
	7000	7.9	6.5	5.7	5.0	4.4	4.1	3.8	3.7	3.3
	8000	8.5	6.9	6.0	5.1	4.5	4.3	3.9	3.7	3.4
8	500	3.3	3.1	2.8	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	1000	3.6	3.5	3.0	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
	1500	4.2	3.8	3.3	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
	2000	4.8	4.1	3.5	3.0	2.9	2.8	2.8	2.6	2.5
	2500	5.4	4.4	3.8	3.2	3.1	3.1	3.0	2.8	2.7
	3000	6.0	4.8	4.2	3.5	3.4	3.4	3.3	3.0	2.8
	3500	6.6	5.2	4.6	3.8	3.7	3.6	3.5	3.3	3.0
	4000	7.2	5.6	4.9	4.1	4.0	3.8	3.7	3.4	3.2
	5000	8.1	6.3	5.6	4.6	4.4	4.2	4.1	3.7	3.4
	6000	8.7	6.9	6.0	4.9	4.7	4.5	4.3	3.9	3.6
	7000	9.2	7.4	6.3	5.2	4.9	4.6	4.4	4.1	3.7
	8000	9.7	7.6	6.5	5.4	4.9	4.8	4.5	4.2	3.7

Tabla 20. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 19. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)							
		5	10	15	20	30	35	40	50
<= -2	500	3.0	2.5	2.4	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9
	1000	3.1	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	2.9	2.5	2.4	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9
	3000	2.9	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9
	4000	2.9	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9
	5000	3.1	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.9	1.8
	6000	3.5	3.3	3.2	2.8	2.5	2.5	2.3	2.1
	7000	3.4	3.2	3.2	2.7	2.5	2.5	2.3	2.1
	8000	3.4	3.2	3.1	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
	9000	3.3	3.1	3.1	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1
-3	500	3.2	3.0	3.0	2.6	2.8	2.2	2.1	2.0
	1000	3.3	2.6	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0
	2000	3.3	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9
	3000	3.2	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9
	4000	3.1	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	5000	3.5	2.7	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9
	6000	4.6	4.3	3.8	3.1	2.9	2.8	2.6	2.4
	7000	4.5	4.2	3.7	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4
	8000	4.4	4.0	3.6	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4
	9000	4.3	3.9	3.5	3.0	2.8	2.7	2.6	2.3
-4	500	3.6	2.8	2.7	2.6	2.3	2.3	2.1	2.0
	1000	3.6	2.9	2.7	2.7	2.3	2.3	2.1	2.0
	2000	3.7	2.9	2.7	2.6	2.3	2.3	2.1	2.0
	3000	3.6	2.9	2.7	2.6	2.3	2.2	2.1	2.0
	4000	3.5	2.8	2.6	2.5	2.2	2.2	2.1	2.0
	5000	3.7	3.0	2.6	2.4	2.1	2.1	2.0	1.9
	6000	5.4	5.0	4.4	3.9	3.3	3.1	2.8	2.6
	7000	5.3	4.8	4.3	3.8	3.3	3.1	2.8	2.6
	8000	5.2	4.6	4.1	3.7	3.2	3.0	2.8	2.6
	9000	5.1	4.4	4.0	3.6	3.1	3.0	2.7	2.5

Continuación Tabla 19. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)							
		5	10	15	20	30	35	40	50
-5	500	3.5	3.2	3.0	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	1000	3.5	3.2	3.0	2.9	2.5	2.4	2.3	2.1
	2000	3.5	3.2	3.0	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	3000	3.4	3.1	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1
	4000	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0
	5000	3.7	3.1	2.7	2.5	2.2	2.2	2.1	1.9
	6000	6.5	5.3	5.1	4.3	3.6	3.4	3.1	2.8
	7000	6.5	5.1	4.9	4.3	3.6	3.3	3.0	2.7
	8000	6.4	5.0	4.7	4.2	3.5	3.3	3.0	2.7
	9000	6.1	4.8	4.5	4.1	3.4	3.2	2.9	2.6
-6	500	3.7	3.3	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2
	1000	3.7	3.3	3.3	3.0	2.7	2.5	2.4	2.2
	2000	3.6	3.3	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2
	3000	3.5	3.2	3.1	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2
	4000	3.5	3.1	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
	5000	3.9	3.1	2.9	2.6	2.4	2.2	2.2	2.0
	6000	7.6	6.7	5.2	4.9	3.7	3.5	3.2	2.8
	7000	7.2	6.4	5.2	4.9	3.7	3.4	3.2	2.8
	8000	7.1	6.3	5.0	4.7	3.6	3.3	3.2	2.8
	9000	6.8	6.0	4.7	4.5	3.5	3.2	3.1	2.8
-7	500	4.4	3.6	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3
	1000	4.5	3.6	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3
	2000	4.4	3.6	3.3	3.0	2.7	2.6	2.4	2.3
	3000	4.2	3.4	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2
	4000	4.0	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2
	5000	4.3	3.5	3.0	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1
	6000	8.8	7.2	5.2	4.9	3.9	3.6	3.4	3.1
	7000	8.6	6.9	5.1	4.7	4.0	3.6	3.5	3.1
	8000	8.4	6.7	4.9	4.6	3.9	3.6	3.4	3.0
	9000	8.0	6.4	4.7	4.4	3.7	3.4	3.3	3.0

Continuación Tabla 19. Equivalentes de camión en pendientes descendentes

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)							
		5	10	15	20	30	35	40	50
-8	500	4.2	3.7	3.7	3.3	2.9	2.7	2.6	2.4
	1000	4.3	3.8	3.7	3.2	2.9	2.7	2.6	2.4
	2000	4.2	3.7	3.6	3.2	2.9	2.7	2.6	2.3
	3000	4.1	3.5	3.5	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3
	4000	3.9	3.4	3.3	3.0	2.7	2.5	2.5	2.3
	5000	4.4	3.5	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	6000	9.8	7.1	5.7	4.9	4.0	3.8	3.6	3.3
	7000	9.6	6.8	5.5	4.8	4.0	3.7	3.6	3.2
	8000	9.4	6.6	5.3	4.7	4.0	3.7	3.6	3.2
	9000	9.0	6.3	5.1	4.5	3.8	3.6	3.4	3.1

Tabla 21. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.5.5. Consideraciones para análisis de planeación.

Todo lo expresado en este numeral aplica para análisis de operación y de planeación. La única diferencia está en la ecuación para obtener el flujo de tránsito, que para el caso de planeación es:

$$q_p = v_p = \frac{V}{FHP * f_{HV} * f_p}$$

5.6. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis (V).

La velocidad de operación en el sector de análisis Vi se determina con la curva maestra de análisis seleccionada en el paso 2 y el flujo de tránsito calculado en el paso 3. Esta velocidad representa las condiciones reales de la carretera

5.7. Paso 5: cálculo de la densidad.

La densidad del sector de análisis, en veh/km/carril, se determina con la expresión:

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

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

En donde:

D: Densidad (veh/km/carril)

q_p: Flujo de tránsito (ades/h/carril)

V: Velocidad de operación (km/h)

5.8. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio.

En la Tabla 20, con la densidad calculada en el paso 5 y el tipo de multicarril hallada en el paso 2, se obtiene el Nivel de Servicio de la vía.

Tabla 20. Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia.

Nivel de Servicio	Multicarril tipo 1 (96 km/h) y tipo 2 (90km/h)	Multicarril tipo 3 (80 km/h)	Multicarril tipo 4 (70 km/h)
A	<= 6	<= 7	<= 8
B	> 6 - 11	> 7 - 12	> 8 - 15
C	>11 - 16	>12 - 18	>15 - 23
D	> 16 - 22	> 18 - 25	> 23 - 32
E	> 22 - 28	> 25 - 31	> 32 - 40
F	> 28	> 31	> 40

Tabla 22. Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.9. Paso 7: cálculo del número de carriles (planeación).

El análisis de planeación comprende los siguientes pasos previos:

• Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para usar el manual.
• Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis
• Paso 3: cálculo del flujo vehicular.

El siguiente paso es determinar el número de carriles que requiere la carretera para ofrecer el Nivel de Servicio deseado.

Para ello se obtiene la Tasa de flujo máxima que puede alcanzar una carretera multicarril en el Nivel de Servicio deseado. Este flujo se obtiene de la Tabla 21, para lo que se necesita el Nivel de Servicio deseado y el tipo de multicarril determinado en el paso 2

Tabla 21. Tasas de flujo máximas por Nivel de Servicio (TFM_i).

Nivel de Servicio	Tipo de multicarril VL			
	Tipo 4: 70 Km/h	Tipo 3: 80 Km/h	Tipo 2: 90 Km/h	Tipo 1: 96 Km/h
A	525	540	550	560
B	945	970	990	1010
C	1365	1400	1430	1460
D	1785	1830	1870	1910
E	2100	2150	2200	2250

Tabla 23. Tasas de flujo máximas por Nivel de Servicio (TFMi).
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

El número de carriles se calcula con la ecuación:

$$N = \frac{v_p}{TFM_i};\ v_p = q_p$$

El encontrar el número de carriles requiere de un proceso iterativo, dado que N generalmente no es número entero. Para ello, se recalcula el Nivel de Servicio para los valores por defecto y exceso obtenidos para N. Este proceso iterativo se realiza aplicando el procedimiento de análisis de operación o con la ayuda del programa de computador diseñado para aplicar el manual.

5.10. Datos de entrada.

Se tiene una carretera multicarril dividida de dos carriles por sentido y con una longitud de 0.326 kilómetros los cuales se desarrollan en terreno plano. El ancho de separador varia de 1.80 a 3.60 metros, el ancho de cada carril es de 3.5 metros, no presenta bermas. El número de accesos laterales es de 1 punto/km por sentido.

El volumen de tránsito es de 14 veh/hora/sentido, el factor de la hora pico es de 0.88 y el porcentaje de camiones es del 5 %. Se desea determinar el Nivel de Servicio ofrecido por la vía.

Los pasos necesarios para determinar el Nivel de Servicio.

• Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para aplicar el manual.
• Paso 2: determinación de la curva flujo–velocidad característica del sector de análisis.
• Paso 3: cálculo del flujo vehicular.
• Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis.
• Paso 5: cálculo de la densidad.
• Paso 6: determinación del Nivel de Servicio

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

5.10.1. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para aplicar el manual.

5.10.1.1. Proceso de sectorización.

El manual se aplica a sectores homogéneos desde el punto de vista de geometría y tránsito. En el proyecto se identifica un único sector en terreno plano.

5.10.1.2. Definición del tipo de aplicación.

Se define una aplicación de operación y terreno genérico, plano

5.10.1.3. Preparación de información necesaria para el manual.

Se prepara la información de geometría y transito

a) Información de geometría.

Variable	Valor
Ancho de separador (m)	Variable 1.80 – 3.60
Ancho de carril (m)	3.50
Número de carriles	2
Promedio de bermas (m)	0
Densidad de accesos, puntos/km	1
Tipo de terreno	Genérico, plano

Tabla 24. Información de geometría.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

b) Información de tránsito.

Variable	Valor
Volumen de tránsito, veh/h/sentido	14
Factor Hora Pico (FHP)	0.88
Porcentaje de camiones (%)	5
Tipo de conductor	frecuente

Tabla 25. Información de geometría.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

PABLO CASTILLA NEGRETE Estudios Geotécnicos y Ambientales

5.10.2. Paso 2: determinación de la curva flujo–velocidad característica del sector de análisis.

5.10.2.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL).

La velocidad a flujo libre característica puede ser estimada analíticamente utilizando la siguiente ecuación

$$\mathbf{VL} = \mathbf{VG} - f_C - f_S - f_B - f_A$$

a) Estimación de la velocidad genérica del sector de análisis (VG).

Se debe seleccionar una velocidad característica o genérica de la vía, para ello se analizan los tipos de vía incluidos en las Tablas 10 y 11 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril. Con las especificaciones geométricas de los alineamientos horizontales y verticales, se define la vía como tipo C1 en función del ancho de calzada (7.00 m) (Ver Tabla 10). Con las características de operación y la existencia de separador se asigna una velocidad genérica, VG, de 70 km/h (Ver Tabla 11)

b) Correcciones a la velocidad genérica.

Se obtienen las correcciones de:

• Ancho de carril: FC = 0.0. (Tabla 12 con ancho de carril de 3.50 m).
• Ancho de separador: FS = 0.70 m. (Tabla 13, se toma el valor de 2.00 m como valor critico cercano al del proyecto).
• Promedio de bermas: FB = 7.9 m. (Tabla 14, con promedio de bermas de 0.00 m).
• Densidad de accesos: FA = 3.0 m (Tabla 15, con 1 punto/km, valor mínimo establecido).

$$\mathbf{VL} = \mathbf{70 - 0.0 - 0.70 - 7.9 - 3.0 = 58.4\ Km/h}$$

5.10.2.2. Selección de la curva maestra de referencia.

La velocidad VL de 58.4 km/h se debe aproximar a la velocidad a flujo libre de una de las cuatro curvas maestras típicas desarrolladas.

- Tipo 1: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 96 km/h.
- Tipo 2: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 90 km/h.
- Tipo 3: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 80 km/h.
- Tipo 4: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 70 km/h

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Se selecciona la curva maestra tipo 4, velocidad a flujo libre de 70 km/h

5.10.3. Paso 3: Cálculo del flujo vehicular.

El volumen de tránsito en vehículos mixtos veh/h/sentido se debe convertir en flujo vehicular. Este cálculo se realiza utilizando la ecuación:

$$\boldsymbol{q_p = v_p = \frac{V}{FHP * N * f_{HV} * f_p}}$$

El factor de corrección por camiones (f_{HV}) se calcula así:

$$\boldsymbol{f_{HV} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1)} = \frac{1}{1 + 5\%(1.8 - 1)} = 0.962}$$

• Equivalente, de camión: E_C = 1.8. (Tabla 17. Terreno plano).
• Factor hora pico: FHP = 0.88 m.
• Numero de carriles: N = 2.

• factor de corrección por camiones: F_{HV} = 0.962.
• factor por conocimiento de la vía: F_P = 1.00.

$$q_p = v_p = \frac{14}{0.88 * 2 * 0.962 * 1} = 8$$

5.10.4. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis.

En el paso 2 se selecciona la curva maestra tipo 4, velocidad a flujo libre de 70 km/h. La ecuación del flujo– velocidad tiene la forma funcional:

$$v = v_f - a * \left[\frac{q_p}{b}\right]^c, v_{p=} q_p$$

Los parámetros para la curva maestra se obtienen de la Tabla 16 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril, resultando la ecuación:

$$v = 70 - 5.497 * \left[\frac{8}{692.345}\right]^{1.010} = 69.94 \cong 70 \text{ Km/h}$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

5.10.5. Paso 5: cálculo de la densidad.

La densidad del sector de análisis, en veh/km/carril, se determina con la expresión:

$$D = \frac{v_p}{v} = \frac{8}{70\ Km/h} = 0.11$$

5.10.6. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio.

Para la determinación del Nivel de Servicio se utiliza como variable de efectividad la densidad. Con el valor de densidad y la curva maestra tipo 4, 70 km/h, se ingresa en la tabla 20 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril el cual arroja un nivel de servicio A.

6. CONCLUSIONES.

De acuerdo con el estudio se generan las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con el aforo realizado el tránsito actual de la vía es igual 108 Veh/día, al realizar la proyección del mismo se obtiene un tránsito inicial igual a 141 veh/día.

- Con el valor del tránsito inicial y teniendo en cuenta la tasa de crecimiento y periodo de diseño se estiman las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t, con esta información se debe realizar el diseño de la estructura del pavimento.

- El análisis se realiza para vías de doble calzada, con dos carriles en ambas direcciones.

- La hora pico del aforo analizado es entre las 11:20 am – 12:30 pm. El volumen de hora pico fue de 14 vehículos. A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico.

- Nivel de Servicio A: Describe unas condiciones de completa libertad. La circulación de los vehículos queda virtualmente libre de los efectos de la presencia de otros vehículos, y las operaciones únicamente quedan restringidas por la geometría de la carretera y por las preferencias del conductor. La maniobrabilidad dentro de la corriente circulatoria es buena. En este nivel se absorberán con facilidad las pequeñas alteraciones del flujo sin ningún cambio en la velocidad de recorrido.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

7. BIBLIOGRAFÍA.

Como parte de este estudio se utilizó la siguiente bibliografía:

- Instituto geográfico Agustín Codazzi, "Estudio general de suelos y zonificación de tierras – Departamento de Córdoba". Imprenta nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2009.

- Plan de ordenamiento territorial del municipio de Montería córdoba.

- Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.

- Braja M. Das, "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones", Thomson Learning.

- MS-1. Asphalt Institute, Thickness Dessing, 1981.

- Juárez Badillo. E. y Rico, A. Mecánica de suelo, Tomo 1; Fundamentos de la mecánica de suelos, U.N.A.M, México, 1969, 3ª. Edición.

- Especificaciones técnicas del INVIAS 2013.
- Manual de capacidad y niv eles de servicio para vias multicarril – Primera versión. INVIAS 2020.



PABLO CASTILLA NEGRETE
Ingeniero Civil
Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones.
Especialista en ingeniería ambiental.
Especialista en Prevención, atención y reducción de desastres.
Especialista en gerencia para ingenieros.
M.P. 1320251172BLV.
Montería, noviembre de 2022.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

ANEXO 1.
AFORO VEHICULAR

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Consultorías Geotecnia y Ambiente S.A.S.

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: NORTE - SUR **DIA:** 1

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:15 a. m.	7:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:30 a. m.	7:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:15 a. m.	8:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:45 a. m.	9:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:00 a. m.	9:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:15 a. m.	9:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:30 a. m.	9:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:45 a. m.	10:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:15 a. m.	10:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:30 a. m.	10:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:45 a. m.	11:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	11:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	0	0	1	0	0	2
11:30 a. m.	11:45 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
11:45 a. m.	12:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:00 p. m.	12:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:15 p. m.	12:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:30 p. m.	12:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:45 p. m.	1:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:00 p. m.	1:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:15 p. m.	1:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:45 p. m.	2:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:00 p. m.	2:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:45 p. m.	3:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:00 p. m.	3:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:15 p. m.	3:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:30 p. m.	3:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:45 p. m.	4:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:00 p. m.	4:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:15 p. m.	4:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:00 p. m.	5:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:30 p. m.	5:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:45 p. m.	6:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		**39**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**40**

Consultorías Geotecnia y Ambiente S.A.S.

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: NORTE - SUR **DIA:** 2

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	0	0	1	0	0	0	1
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:15 a. m.	7:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:30 a. m.	7:45 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
7:45 a. m.	8:00 a. m.	2	0	1	0	0	0	3
8:00 a. m.	8:15 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
8:15 a. m.	8:30 a. m.	7	0	0	0	0	0	7
8:30 a. m.	8:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
8:45 a. m.	9:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
9:00 a. m.	9:15 a. m.	6	0	0	0	0	0	6
9:15 a. m.	9:30 a. m.	5	0	0	1	0	0	6
9:30 a. m.	9:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:45 a. m.	10:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:15 a. m.	10:30 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:30 a. m.	10:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
10:45 a. m.	11:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:00 a. m.	11:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:15 a. m.	11:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:30 a. m.	11:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:45 a. m.	12:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:00 p. m.	12:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:30 p. m.	12:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:45 p. m.	1:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:15 p. m.	1:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:30 p. m.	1:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:00 p. m.	2:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:15 p. m.	2:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:30 p. m.	2:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:00 p. m.	3:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:45 p. m.	4:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:00 p. m.	4:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
4:15 p. m.	4:30 p. m.	1	0	1	0	0	0	2
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:00 p. m.	5:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:30 p. m.	5:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:45 p. m.	6:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
TOTAL		**124**	**0**	**3**	**1**	**0**	**0**	**129**

Consultorías Geotecnia y Ambiente S.A.S.

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: NORTE - SUR **DIA:** 3

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:45 a. m.	7:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:00 a. m.	7:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:15 a. m.	7:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:30 a. m.	7:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	0	0	1	0	0	3
8:15 a. m.	8:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:45 a. m.	9:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	0	1	0	0	0	5
9:15 a. m.	9:30 a. m.	2	0	0	1	0	0	3
9:30 a. m.	9:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:45 a. m.	10:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:00 a. m.	10:15 a. m.	5	0	0	1	0	0	6
10:15 a. m.	10:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:30 a. m.	10:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
10:45 a. m.	11:00 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:15 a. m.	11:30 a. m.	3	0	0	1	0	0	5
11:30 a. m.	11:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
11:45 a. m.	12:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:00 p. m.	12:15 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
12:15 p. m.	12:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:45 p. m.	1:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
1:00 p. m.	1:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:15 p. m.	1:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:30 p. m.	1:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:45 p. m.	2:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:00 p. m.	2:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:15 p. m.	2:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:30 p. m.	2:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	0	0	1	0	0	5
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
3:15 p. m.	3:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:00 p. m.	4:15 p. m.	3	0	1	0	0	0	5
4:15 p. m.	4:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:30 p. m.	4:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:45 p. m.	5:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:00 p. m.	5:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
5:15 p. m.	5:30 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:30 p. m.	5:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:45 p. m.	6:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL		**120**	**0**	**2**	**6**	**0**	**0**	**128**

Consultorías Geotecnia y Ambiente S.A.S.

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: SUR - NORTE **DIA:** 1

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:15 a. m.	7:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:30 a. m.	7:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:15 a. m.	8:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:45 a. m.	9:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:00 a. m.	9:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:15 a. m.	9:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:30 a. m.	9:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:45 a. m.	10:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:15 a. m.	10:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:45 a. m.	11:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	11:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:15 a. m.	11:30 a. m.	3	0	0	1	0	0	4
11:30 a. m.	11:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:45 a. m.	12:00 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
12:00 p. m.	12:15 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:45 p. m.	1:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:15 p. m.	1:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:30 p. m.	1:45 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:00 p. m.	2:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:15 p. m.	2:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:00 p. m.	3:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:15 p. m.	3:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:30 p. m.	3:45 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:00 p. m.	4:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
4:15 p. m.	4:30 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:00 p. m.	5:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:30 p. m.	5:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:45 p. m.	6:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL		**49**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**50**

Consultorías Geotecnia y Ambiente S.A.S.

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: SUR - NORTE **DIA:** 2

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	2	0	1	0	0	0	3
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	4	0	0	0	0	0	4
7:15 a. m.	7:30 a. m.	6	0	0	0	0	0	6
7:30 a. m.	7:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	1	0	0	0	2
8:00 a. m.	8:15 a. m.	7	0	0	0	0	0	7
8:15 a. m.	8:30 a. m.	8	0	0	0	0	0	8
8:30 a. m.	8:45 a. m.	6	0	0	0	0	0	6
8:45 a. m.	9:00 a. m.	7	0	0	0	0	0	7
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
9:15 a. m.	9:30 a. m.	4	0	0	1	0	0	5
9:30 a. m.	9:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:45 a. m.	10:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:00 a. m.	10:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:15 a. m.	10:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:45 a. m.	11:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:30 a. m.	11:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:45 a. m.	12:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:00 p. m.	12:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:30 p. m.	12:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:45 p. m.	1:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:00 p. m.	1:15 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
1:15 p. m.	1:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:45 p. m.	2:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
2:00 p. m.	2:15 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
2:15 p. m.	2:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
2:30 p. m.	2:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:00 p. m.	3:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:15 p. m.	3:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:30 p. m.	3:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
3:45 p. m.	4:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
4:00 p. m.	4:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:15 p. m.	4:30 p. m.	4	0	1	0	0	0	5
4:30 p. m.	4:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:45 p. m.	5:00 p. m.	7	0	0	0	0	0	7
5:00 p. m.	5:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:15 p. m.	5:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
5:30 p. m.	5:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:45 p. m.	6:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
TOTAL		**135**	**0**	**3**	**1**	**0**	**0**	**139**

Consultorías Geotecnia y Ambiente S.A.S.

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: SUR - NORTE **DIA:** 3

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:15 a. m.	6:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
6:30 a. m.	6:45 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
7:15 a. m.	7:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:30 a. m.	7:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	0	0	1	0	0	3
8:15 a. m.	8:30 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
8:30 a. m.	8:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
8:45 a. m.	9:00 a. m.	4	0	0	0	0	0	4
9:00 a. m.	9:15 a. m.	2	0	1	0	0	0	3
9:15 a. m.	9:30 a. m.	1	0	0	1	0	0	2
9:30 a. m.	9:45 a. m.	4	0	0	0	0	0	4
9:45 a. m.	10:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:00 a. m.	10:15 a. m.	3	0	0	1	0	0	4
10:15 a. m.	10:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:30 a. m.	10:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:45 a. m.	11:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
11:00 a. m.	11:15 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
11:15 a. m.	11:30 a. m.	6	0	0	1	0	0	7
11:30 a. m.	11:45 a. m.	8	0	0	0	0	0	8
11:45 a. m.	12:00 p. m.	6	0	0	0	0	0	6
12:00 p. m.	12:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:15 p. m.	12:30 p. m.	9	0	0	0	0	0	9
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:45 p. m.	1:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:00 p. m.	1:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:15 p. m.	1:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:00 p. m.	2:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	0	0	1	0	0	2
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
3:15 p. m.	3:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:30 p. m.	3:45 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
3:45 p. m.	4:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:00 p. m.	4:15 p. m.	6	0	1	0	0	0	7
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:00 p. m.	5:15 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:15 p. m.	5:30 p. m.	7	0	0	0	0	0	7
5:30 p. m.	5:45 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
5:45 p. m.	6:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
TOTAL		**135**	**0**	**2**	**5**	**0**	**0**	**142**